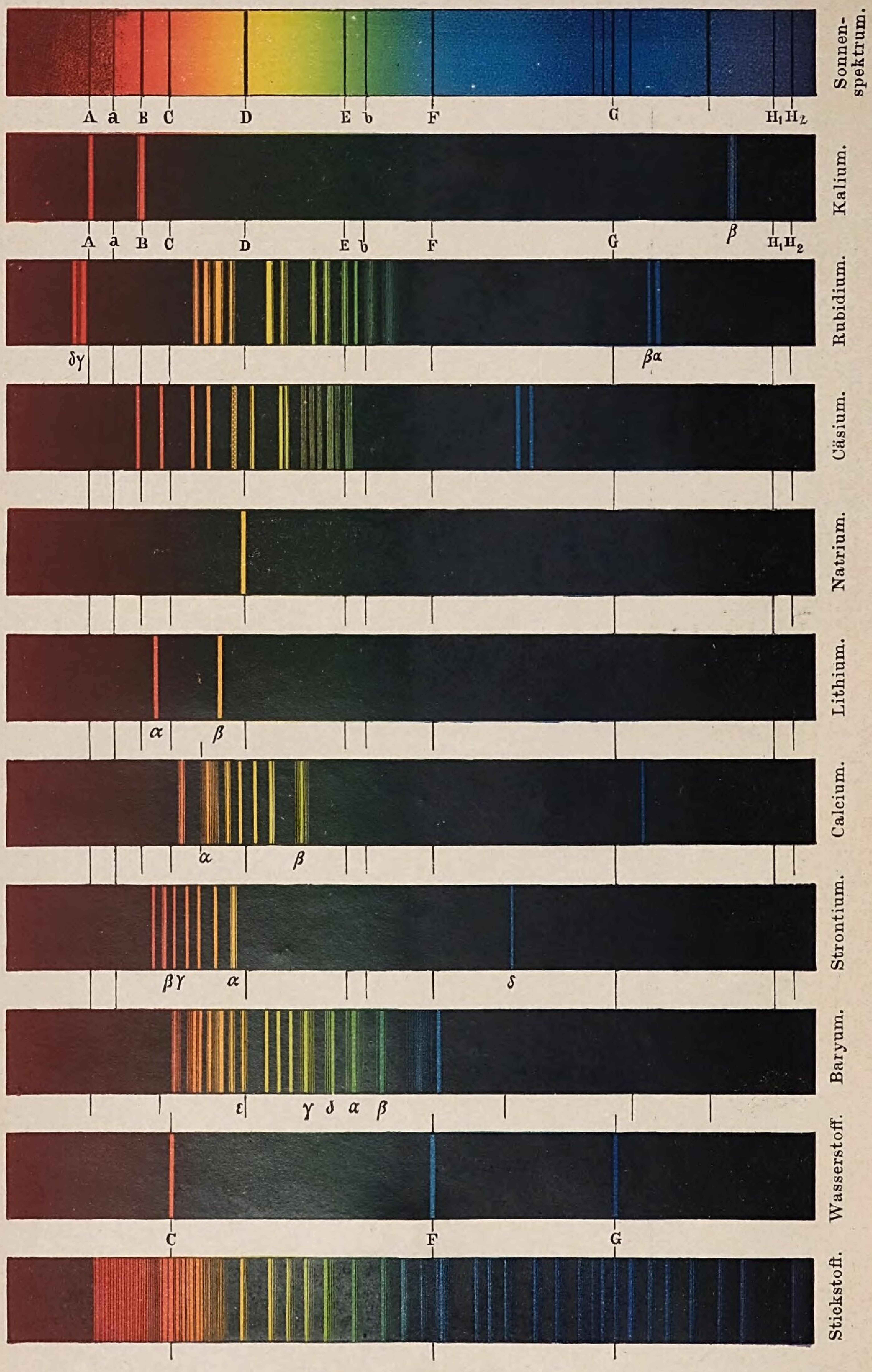
Spectral-Tafel



Sumpf — Physik

Verlag von A. Lax in Hildesheim

Dr. K. Sumpfs

Schulphysik.

Methodisches Lehr- und Übungsbuch für höhere Schulen

in zwei Lehrstufen.

Fünfte verbesserte Auflage

bearbeitet

von

Dr. A. Pabst.

BIBLIOTHECA REGIA

Mit 529 in den Text gedruckten Abbildungen und einer Spektraltafel in Farbendruck.

Hildesheim 1894.

Druck und Verlag von August Lax.

Ein nach den preufsischen Lehrplänen für Gymnasien bearbeiteter Anhang

„Mathematische Erdkunde“

wird als besonderes Heft ausgegeben.

Die Verlagsbuchhandlung.

Alle Rechte vorbehalten.

Vorwort zur fünften Auflage.

Über die Einrichtung dieses Buches und über die Grundsätze, die für die Bearbeitung der vorliegenden Auflage mafsgebend waren, ist Folgendes zu bemerken.

a) Die Frage, ob für die höheren Schulen eine Teilung des Physikunterrichts in zwei Lehrstufen wünschenswert und zweckmäfsig sei, wurde wiederholt erörtert und überwiegend in bejahendem Sinne entschieden. Inzwischen haben die preufsischen Lehrpläne von 1892 durch die Einführung eines vorbereitenden physikalischen Unterrichts jene Erörterungen zum vorläufigen Abschlufs gebracht und die Lehrbücher vor die Aufgabe gestellt, sich der Zweiteilung anzupassen. Sie bedarf demnach keiner besonderen Rechtfertigung mehr in einem Lehrbuche, das sie schon in drei Auflagen durchgeführt hat.

b) Schwieriger ist die Frage der Abgrenzung des Lehrstoffes für die beiden Stufen. Als Grundlage einer Verständigung hierüber im allgemeinen dürfen die in der „Zeitschrift für physikalischen und chemischen Unterricht" gegebenen Ausführungen von *Noack* und *Poske**) angesehen werden; im einzelnen werden wohl immer die theoretischen Ansichten und praktischen Erfahrungen so verschieden sein, dafs es schwerlich einem Lehrbuche gelingen wird, den Anforderungen nach allen Seiten zu entsprechen.

In der erwähnten Abhandlung *Poskes* ist überzeugend nachgewiesen, dafs weder der Gegensatz von „experimentell" und „theoretisch", noch die Unterscheidung von „induktiv" und „deduktiv" zu einer Abgrenzung des Lehrstoffes für die Unter- und Oberstufe benutzt werden kann; es wird vielmehr bei der Auswahl des Stoffes für die Unterstufe der Grundsatz mafsgebend sein müssen:

Das natürliche Interesse des Schülers für die Erscheinungen der physischen Welt zu beobachten und insoweit zu befriedigen, als ein Bedürfnis nach physikalischer Erkenntnis bereits vorhanden ist oder auf naturgemäfse Weise geweckt werden kann.**)

Daraus ergiebt sich für den vorbereitenden physikalischen Unterricht die Aufgabe, den Erfahrungsstoff, der bei dem Schüler bereits vorhanden und für den Unterricht verwertbar ist, zu ordnen und dem Schüler zum Bewufstsein zu bringen, um dadurch für den späteren Unterricht die Grundlage zu legen.

Dieser Gesichtspunkt ist für den Verfasser bei der Auswahl des Stoffes für die erste Lehrstufe mafsgebend gewesen***) und deshalb konnte in der vorliegenden Auflage die früher getroffene Scheidung unverändert beibehalten werden. Der Herausgeber glaubt damit den richtigen Weg

*) Jahrgang IV, Seite 168 und V, Seite 169.

**) a. a. O. Seite 174.

***) Vergl. das Vorwort zur 3. Auflage (1888).

gegangen zu sein, trotzdem er sich der Bedenken bewufst ist, die man gegen dieses Festhalten an der bisherigen Einteilung geltend machen kann. Ohne die Gründe für und wider erörtern zu wollen, sei nur bemerkt, dafs die Bearbeitung der etwa in Frage kommenden Abschnitte gestattet, dieselben unbeschadet des Zusammenhanges auch an einer anderen geeigneten Stelle zu behandeln; es kann z. B. § 29 mit § 99, § 33 mit § 122 in Verbindung gebracht oder § 84 an § 19, § 134 an § 48 angeschlossen werden. Durch Anmerkungen, welche zur Überschrift der betreffenden Paragraphen als Fufsnoten gegeben sind, werden derartige Änderungen in der Verteilung des Unterrichtsstoffes erleichtert und wird vor allem dem Schüler die für Wiederholungen notwendige Übersicht verschafft.

c) Das Buch ist zunächst für solche Lehranstalten bestimmt, an denen der physikalische Unterricht wesentlich auf Anschauung beruht. Mathematische Sätze werden daher (mit Ausnahme der Kongruenz der Dreiecke, § 27) auf der ersten Lehrstufe überhaupt nicht und auf der zweiten Stufe nur mit grofser Beschränkung angewendet. Sie sind so geordnet, dafs die trigonometrischen Entwickelungen sämtlich unter dem eigentlichen Lehrstoffe stehen. Ohne dafs der Zusammenhang darunter leidet, können alle in den Fufsnoten und am Schlusse einzelner Paragraphen angegebenen mathematischen Entwickelungen (siehe §§ 98 und 102) weggelassen werden. Durch diese Einrichtung bleibt dem Lehrer volle Freiheit, für die etwa erforderliche mathematische Ableitung im einzelnen den Weg einzuschlagen, der ihm am meisten geeignet erscheint; aufserdem dürfte sie auch den Vorteil haben, dafs Schülern, welche in der Mathematik schwach sind, immerhin der übrige Lehrstoff im Zusammenhange verständlich bleibt.*)

Die im Vorhergehenden charakterisierten Eigentümlichkeiten des Buches, von der Mehrzahl der Beurteiler als Vorzüge bezeichnet, sind durch die Bearbeitung des Herausgebers nicht berührt worden, trotzdem eine Vervollständigung und namentlich eine gröfsere Übersichtlichkeit der mathematischen Entwickelungen soviel als möglich angestrebt wurde (man vergleiche in dieser Hinsicht z. B. die §§ 57, 73, 74, 120, 121 u. a.).

d) Die didaktischen Formen, die dem Schüler die Einsicht in die Methode des physikalischen Erkennens, insbesondere in das Wesen der induktiven Schlufsfolge erleichtern sollen, sind dieselben geblieben. Durch verschiedenen Druck und durch Unterstreichen sind die Hauptunterschiede angedeutet, ohne dafs durch einen weitergehenden Formalismus dem Lehrer beengende Schranken gezogen oder dem Schüler ein Teil seiner Denkarbeit vorweg genommen würde.

e) Eine Prüfung der vom Herausgeber vorgenommenen Änderungen dürfte erkennen lassen, dafs durch dieselben ebensowohl eine Verbesserung der Form, wie eine Vertiefung des Inhaltes angestrebt wurde; in vielen Fällen liefs sich eine zweckmäfsigere Anordnung des Stoffes innerhalb desselben Paragraphen damit verbinden (man vergleiche in dieser Hinsicht die §§ 31, 32, 40, 41, 47, 49,

*) Vergl. das Protokoll über die Verhandlungen der IX. Direktoren-Versammlung in der Provinz Pommern 1885; S. 112 ff.

73, 79, 80, 83, 87, 93, 94, 112, 114, 115, 118, 120, 121, 122, 123, 133, 138, 143 u. a.). Von Änderungen, durch welche der Umfang und die Reihenfolge der Paragraphen berührt wurde, sind nur folgende zu erwähnen: §§ 84 a und b wurde vereinigt, § 89 in a und b getrennt und ebenso wie § 140 und 141 wesentlich umgearbeitet.

Einige Abschnitte der Meteorologie (Buys-Ballotsches Gesetz, Fortbewegung der Minima, Wetterprognose, Stürme) wurden durch an sich nicht erhebliche, aber methodisch wichtige Zusätze ergänzt. Da in der Beziehung auf örtliche Verhältnisse und in der Anregung zu eigenen Beobachtungen eine wesentliche Förderung des Unterrichtszweckes erblickt werden mufs, so wurde in dieser Hinsicht der wertvolle Stoff benutzt, den die Schriften von *Hann, Bebber, Afsmann*, die Berichte der meteorologischen Institute und die wissenschaftlichen Abhandlungen in der „Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins“ bieten.

f) Vor allen anderen Eigentümlichkeiten mufsten dem Buche die erhalten bleiben, die durch eine klare Erkenntnis des Zieles des Physikunterrichts bedingt sind.

Wir erblicken die Hauptaufgabe des Physikunterrichts weder in der Mitteilung einer Summe von Kenntnissen, noch in der Einführung in die logischen Methoden, sondern vielmehr in der Anregung zum Beobachten und zum Nachdenken über die Erscheinungen der Natur und der von ihr abhängigen Thätigkeit des Menschen.

In dem mehr oder weniger bewufsten Ausblick auf dieses Ziel laufen schliefslich alle Bestrebungen zusammen, welche die Methodik des Physikunterrichts im letzten Jahrzehnt so sehr gefördert haben.*) Der methodische Ausbau der Lehrbücher bildet einen Teil — und zwar nicht den am wenigsten wichtigen — dieser Bestrebungen. Der Verfasser der „Schulphysik“ hatte sich, geleitet von einer klaren Zielbestimmung, von vornherein die Aufgabe gestellt, einen „praktischen Beitrag zur Ausbildung der Methode“ zu liefern.**)

Von diesem Gesichtspunkt aus ist der Übungsstoff zu beurteilen. Dieser ist für die Selbstthätigkeit des Schülers bestimmt; er soll das Wissen erproben und in ein Können verwandeln, andererseits aber auch das Interesse am eigenen Beobachten wecken und zum Nachdenken über die gewöhnlichen und alltäglichen Erscheinungen anregen. Deshalb enthält er namentlich Fragen zur Erinnerung an verwandte Erscheinungen, zur Anwendung des Gelernten auf gegebene Fälle und zur Übung im Zusammenfassen und Vergleichen.

Bei dem hohen Werte, den man nach dem Vorhergehenden dem Übungsstoff zumessen mufs, war dessen sorgfältige Bearbeitung durchaus geboten. Wenn sie vielfach zu Kürzungen durch geeignetes Zusammenfassen und durch Ausscheiden blofser Wiederholungsfragen führte, so wurde andererseits auch eine Anzahl Aufgaben und Fragen neu aufgenommen oder zu den vorhandenen ein kurzer Hinweis auf eine Natur-

*) *Poske*, „Ziele und Wege des physikalischen Unterrichts.“ Zeitschrift für physikalischen Unterricht. 1. Jahrg., 1. Heft.

**) Man vergleiche die Besprechung der 2. Aufl. in *Hoffmanns* „Zeitschrift für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht“. 16. Jahrg., S. 607 ff.

erscheinung oder auf eine wichtige Anwendung eines physikalischen Gesetzes (vielfach auch eine kurze historische Notiz) hinzugefügt.

Die Auswahl der zu behandelnden Fragen und die Art der Benutzung des Übungsstoffes, ob zu mündlichen oder schriftlichen Übungen in den Unterrichtsstunden oder zu häuslichen Arbeiten, bleibt dem Ermessen des Lehrers überlassen. Die Rechenaufgaben treten im Vergleich zu den übrigen Fragen sehr zurück.

g) Das „historische Moment“ ist neuerdings von verschiedenen Methodikern mit Recht betont worden. Es wurde deshalb auch mehr in den Vordergrund gestellt und zwar nicht bloſs durch Vermehrung der im Texte gegebenen geschichtlichen Bemerkungen (man vergl. z. B. S. 171, 185, 194, 297 u. a.), sondern auch durch einen Aufbau einzelner Abschnitte, der dem geschichtlichen Entwickelungsgange der physikalischen Lehren entspricht. Die „geschichtliche Übersicht“ endlich, welche am Schluſs des Buches beigefügt wurde, betrachtet der Herausgeber als einen Versuch, den Forderungen der Methodiker entgegenzukommen, die eine Berücksichtigung der Geschichte der Physik im Unterricht empfehlen. *Konz*, *Kühnemann* und *Krenzlin* haben diese Forderungen ausführlich begründet, sodaſs hier ein Hinweis auf die betreffenden Arbeiten genügt.*)

h) Es erübrigt noch, auf einige mehr äuſserliche Verbesserungen dieser Auflage hinzuweisen.

Bei den Worterklärungen sind die Wörter, die dem Griechischen entstammen, auch mit griechischen Lettern gedruckt worden, um einem von gymnasialer Seite geäuſserten Wunsche zu entsprechen.

Als Ersatz mangelhafter und zur Ergänzung fehlender Figuren hat das Buch eine Anzahl neuer Abbildungen erhalten (Fig. 271, 273, 284, 308, 309, 462, 474, 491, 498, 525).

Dagegen konnten die in den Fuſsnoten der ersten drei Auflagen enthaltenen Bemerkungen über Versuchsanordnungen und Apparate dem Buche nicht wieder beigefügt werden. Sie sollen sobald als möglich in erweiterter Form im Buchhandel erscheinen. Durch einen * vor dem betreffenden Versuch ist vorläufig ein Hinweis auf diese „Ergänzungen“ gegeben.

Die Bereitwilligkeit, mit welcher der Verleger auf die auf Verbesserung des Buches gerichteten Wünsche einging, verdient besondere Anerkennung; auch kann ich schlieſslich nicht unterlassen, den Herren Oberlehrer Dr. Greve in Zerbst, Konz in Bedburg und Kühnemann in Memel für ihre freundlichst erteilten Ratschläge meinen besten Dank auszusprechen. Indem ich um weitere gefällige Mitteilung etwaiger Wünsche und Verbesserungsvorschläge bitte, empfehle ich das Buch einer wohlwollenden Beurteilung.

Cöthen in Anhalt, im Januar 1894. **A. Pabst.**

*) Programmschriften des Gymnasiums zu Memel (1890), der Rheinischen Ritter-Akademie zu Bedburg (1890) und des Realgymnasiums zu Nordhausen (1891).

Vergl. auch die Verhandlungen der Direktoren-Versammlung in Ost- und Westpreuſsen 1880 (S. 46 ff.) und die Besprechung der Ostwaldschen Klassiker-Ausgabe in *Poskes* Zeitschrift (III. Jahrg., 4. Heft).

Inhaltsverzeichnis.

Erste Lehrstufe.

I. Abschnitt. **Von den Körpern im allgemeinen.**
(Seite 1—11.)

Aggregatzustände und allgemeine Eigenschaften: § 1. Feste, flüssige und luftförmige Körper. — § 2. Ausdehnung und Undurchdringlichkeit. — § 3. Trägheit oder Beharrungsvermögen.

Wirkungen der Schwerkraft: § 4. Schwere. — § 5. Lot und Wage. — §. 6. Das freie Fallen der Körper.

II. Abschnitt. **Gleichgewicht und Bewegung der Körper. (Mechanik.)** (Seite 11—44.)

Von den festen Körpern: Einfache Maschinen. § 7. Der Hebel. — § 8. Hebelgesetze. — § 9. Die Rolle. — § 10. Das Wellrad. — § 11. Die schiefe Ebene. — § 12. Der Keil. — § 13. Die Schraube. — § 14. Maschine. Goldene Regel der Mechanik.

Von den flüssigen Körpern: § 15. Freie Oberflächen. Leitend verbundene (kommunizierende) Gefäfse. — § 16. Allseitiger Druck der Flüssigkeiten. — §. 17. Das specifische Gewicht der festen und flüssigen Körper.

Von den luftförmigen Körpern: § 18. a. Allseitiger Druck der Luft. b. Spannkraft eingeschlossener Luft. — § 19. Heber. Zerstäubungsapparat. — § 20. Saugpumpe und Saugdruckpumpe. — § 21. Heronsball und Feuerspritze. Gebläse.

III. Abschnitt. **Vom Schalle.**
(Seite 44—50.)

§ 22. Erregung des Schalles. — § 23. Fortpflanzung des Schalles. — § 24. Zurückwerfung des Schalles. Echo. Nachhall. Instrumente.

IV. Abschnitt. **Vom Lichte.**
(Seite 40—62.)

§ 25. Selbstleuchtende und dunkle Körper. Verbreitung des Lichtes. — § 26. Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Schatten. — § 27. Zurückwerfung des Lichtes. Ebene Spiegel. — § 28. Zerstreuung des Lichtes. Morgen- und Abenddämmerung. — § 29. Brechung des Lichtes. Atmosphärische Strahlenbrechung.

V. Abschnitt. **Von der Wärme.**
(Seite 62—77.)

Wirkungen der Wärme: § 30. Wärmeempfindung. Thermometer. Mitteilung der Wärme. — § 31. Ausdehnung der Körper durch die Wärme. — § 32. Änderung der Aggregatzustände. — § 33. Druck der Dämpfe.

Fortpflanzung der Wärme: § 34. Wärmeleitung. — § 35. Verbreitung der Wärme durch Strömung.

Die atmosphärischen Niederschläge: § 36.

VI. Abschnitt. **Vom Magnetismus.**
(Seite 78—84.)

§ 37. Magnetnadel. Magnetische Grunderscheinungen. — § 38. Wechselwirkung zweier Magnete. Magnetische Verteilung. — § 39. Herstellung künstlicher Magnete. Tragkraft und verschiedene Formen der Magnete.

VII. Abschnitt. **Von der Elektricität. (Reibungs-Elektricität.)**
(Seite 84—112.)

§ 40. El. Grunderscheinungen. Elektroskope. — § 41. Mitteilung und Leitung der Elektricität. — § 42. Positive und negative Elektricität. Gleichzeitige Erregung beider Elektricitäten. — § 43. El. Verteilung (Influenz) und Ausgleichung. — § 44. Anordnung der Elektricität auf einem Leiter. El. Spannung.

El. Verstärkungs- und Ansammlungs-Apparate: § 45. Der Elektrophor. El. Funke. El. Rückschlag. — § 46. Die Elektrisiermaschine. Spitzenwirkung. Doppelinfluenz. — § 47. Ansammlung von Elektricität. Kondensatoren. — § 48. Die Wirkungen und die Dauer der el. Entladung.

El. Erscheinungen in der Atmosphäre: § 49. Gewitter. Blitzableiter. Nordlicht.

VIII. Abschnitt. **Rückblick.** (Seite 112—114.) **Aufgabe der Physik.** § 50.

Zweite Lehrstufe.

I. Abschnitt. Von den Körpern im allgemeinen.

(Seite 114—130.)

Allgemeine Eigenschaften der Körper: § 51. Porosität und Teilbarkeit.

Wirkungen der Molekularkräfte: § 52. Kohäsion und Expansion. — § 53. Verschiedenheit der Kohäsion fester Körper. Elasticität und Festigkeit. — § 54. Adhäsion. Kapillarität. Absorption. — § 55. Diffusion der Flüssigkeiten und Gase.

Allgemeine Massenanziehung oder Gravitation: § 56.

II. Abschnitt. Mechanik.

(Seite 130—215.)

A. Von den festen Körpern.

Bewegungen und Kräfte im allgemeinen: § 57. Ruhe und Bewegung. Arten der Bewegung. Geschwindigkeit. Beschleunigung. — § 58. Versuche über die gleichmäfsig beschleunigte Bewegung. — § 59. Mafs der Kräfte. Gleichgewicht. Wirkung und Gegenwirkung. — § 60. Mechanische Arbeit. — § 61. Von den Hindernissen der Bewegung. — § 62. Vom Stofse.

Zusammensetzung und Zerlegung von Bewegungen und Kräften: § 63. Zusammensetzung und Zerlegung von Bewegungen. — § 64. Zusammensetzung der Kräfte. — § 65. Zerlegung der Kräfte.

Vom Schwerpunkte: §. 66. Schwerpunkt und Gleichgewichtslagen. — § 67. Standfestigkeit der Körper.

Die einfachen Maschinen und ihre einfachsten Verbindungen: § 68. Hebel. § 69. Hebel- oder Balkenwagen. (Hebelverbindung.) — § 70. Rolle. Rollenverbindungen oder Flaschenzüge. — § 71. Verbindungen des Wellrades. — § 72. Schiefe Ebene. Keil und Schraube.

Besondere Bewegungen: § 73. Freier Fall und senkrechter Wurf. — § 74. Wagerechter und schiefer Wurf. — § 75. Centralbewegung. Centralkraft. — § 76. Versuche über die Centrifugalkraft (Schwungkraft). — § 77. Pendelbewegung. — § 78. Trägheitsmoment.

B. Von den flüssigen Körpern.

§ 79. Gleichmäfsige Fortpflanzung eines äufseren Druckes. Hydraulische Presse. — § 80. Druckverhältnisse im Innern einer Flüssigkeit. Boden- und Seitendruck, Aufdruck. — § 81. Gewichtsverlust fester Körper in Flüssigkeiten. — § 82. Das Schweben, Untersinken und Schwimmen in einer Flüssigkeit. — § 83. Bestimmung des spec. Gewichtes fester und flüssiger Körper.

C. Von den luftförmigen Körpern.

§ 84. Gröfse des Luftdruckes. Barometer. — § 85. Beziehung zwischen Druck und Volumen eingeschlossener Luft (Mariottesches Gesetz). Manometer. — § 86. Abnahme des Barometerstandes mit der Höhe. — § 87. Luftpumpen. — § 88. Gewichtsverlust der Körper in der Luft. Specifisches Gewicht luftförmiger Körper.

III. Abschnitt. Die Lehre vom Schalle. (Akustik.)

(Seite 215—236.)

§ 89 a. Wellenbewegung flüssiger und fester (elastischer) Körper. — § 89 b. Fortpflanzung des Schalles in der Luft. Luftwellen. — § 90. Geschwindigkeit und Stärke des Schalles. — § 91. Das Gehörorgan des Menschen. Phonograph.

Von den Tönen und den wichtigsten Tonerregern: § 92. Töne und Intervalle. — § 93. Tönende Saiten. Obertöne. Schwingungen der Stäbe und Platten. — § 94. Tönende Luftsäulen. — § 95. Resonanz und Mittönen. Klangfarbe. Interferenz.

IV. Abschnitt. **Die Lehre vom Lichte. (Optik.)**
(Seite 236—290.)

Geschwindigkeit und Stärke des Lichtes: § 96. Geschwindigkeit des Lichtes. — § 97. Stärke der Beleuchtung. Photometer.

Zurückwerfung und Brechung des Lichtes: § 98. Zurückwerfung des Lichtes durch gekrümmte Spiegel. — § 99. Brechungsmoment. Totale Reflexion. Luftspiegelung. — § 100. Brechung des Lichtes beim Durchgange durch Platten und Prismen. — § 101. Brechung des Lichtes durch sphärische Linsen. — § 102. Bilder durch Sammellinsen und Zerstreuungslinsen.

Die optischen Instrumente und das Auge: § 103. Lupe und Mikroskop. Zauberlaterne. — § 104. Fernrohre. — § 105. Die Camera obscura und das Auge. — § 106. Das Sehen. — § 107. Fortsetzung.

Farbenzerstreuung des Lichtes: § 108. Zerlegung des Lichtes. Ergänzungsfarben. — § 109. Chromatische Abweichung. Achromatische Prismen und Linsen. — § 110. Die Farbenerscheinungen der Atmosphäre. — § 111. Absorption des Lichtes. Natürliche Farben der Körper. Fluorescenz. Phosphorescenz. — § 112. Reines Sonnenspektrum. Spektrum irdischer Körper. Spektralanalyse. — § 113. Wirkungen farbiger Strahlen. Beugung und Interferenz.

Polarisation und Doppelbrechung. § 114.

V. Abschnitt. **Die Lehre von der Wärme.**
(Seite 290—340.)

Wirkungen der Wärme: § 115. Ausdehnung der Körper. — § 116. Unregelmäfsige Ausdehnung des Wassers. — § 117. Thermometer. — § 118. Veränderlichkeit der Schmelz- und Siedepunkte. — § 119. Schmelz- und Erstarrungswärme. — § 120. Verdampfungs- und Kondensationswärme. — § 121. Specifische Wärme. — § 122. Spannung der Dämpfe. Dämpfe und Gase. — § 123. Dampfspannung. — § 124. Fortsetzung.

Fortpflanzung der Wärme: § 125. Wärmestrahlung.

Quellen der Wärme: § 126.

Wärmeerscheinungen in der Atmosphäre (Meteorologie): § 127. Temperatur der Luft und des Bodens. — § 128. Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche. — § 129a. Luftströmungen. — § 129b. Fortsetzung. — § 130. Feuchtigkeit der Luft. (Hygroskop und Hygrometer.) Niederschläge.

VI. Abschnitt. **Vom Magnetismus.**
(Seite 341—347.)

§ 131. Erdmagnetismus. — § 132. Fortsetzung. — § 133. Abnahme der magnetischen Wirkung mit der Entfernung. Diamagnetismus. Molekularmagnete.

VII. Abschnitt. **Von der Elektricität. (Galvanismus.)**
(Seite 348—387.)

§ 134. Grundversuche. — § 135. Elektrischer Zustand. Elektromotorische Kraft. Galvanischer Strom. — § 136. Konstante Elemente. Galvanoskop und Galvanometer. — § 137. Widerstand. Ohmsches Gesetz. Stromstärke.

Wirkungen des galvanischen Stromes. a. Wirkungen im Stromkreise: §. 138. Wärme- und Lichtwirkung. — § 139. Elektrolyse. Polarisationsstrom. Akkumulatoren. — b. Wirkungen aufserhalb der Strombahn: § 140. Elektromagnetismus. Elektrodynamik. Ampères Theorie. — § 141. Induktion.

Technische Anwendung des Elektromagnetismus und der Induktion: § 142. Elektrische Klingel und Uhr. Telegraph. Telephon und Mikrophon. — § 143. Magnetelektrische und Dynamo-Maschinen. Elektrische Kraftübertragung.

Thermoelektrische und tierische Elektricität. § 144.

VIII. Abschnitt. **Rückblick.**
(Seite 388—393.)

§ 145. Lebendige Kraft. Spannkraft. — § 146. Äquivalenz von Wärme und Arbeit. Wärme und Licht als Art der Bewegung. — § 147. Verwandlung der Energie.

Geschichtliche Übersicht (Seite 395—397).

Abkürzungen,

welche namentlich im Übungsstoff angewandt worden sind.

K.	= Körper.	Flschz.	= Flaschenzug.
fl.	= flüssig.	Gew.	= Gewicht.
luftf.	= luftförmig.	Glgew.	= Gleichgewicht.
atm.	= atmosphärisch.	spec.	= specifisch.
Atm.	= Atmosphäre.	Temp.	= Temperatur.
Flgk.	= Flüssigkeit.	Therm.	= Thermometer.
W.	= Wasser.	magn.	= magnetisch.
Qu.	= Quecksilber.	E.	= Elektricität.
Ersch.	= Erscheinung.	el.	= elektrisch.
Geschw.	= Geschwindigkeit.	Htg.	= Hartgummi.
Sek.	= Sekunde.	Sg.	= Siegellack.
Kr.	= Kraft.	Erkl.	= Erklärung.
L.	= Last.	w.?	= warum?
mech. V.	= mechanischer Vorteil.	wv.?	= wieviel?
mech. N.	= mechanischer Nachteil.	gew.	= gewöhnlich.

Bem. Temperaturangaben ohne Bezeichnung der Skala beziehen sich stets auf die Skala von Celsius.

Berichtigungen.

Seite 70,	Zeile 19	von	oben	lies	Versuch b statt a.
„ 162,	„ 7	„	unten	ergänze	ein Komma nach Q.
„ 177,	„ 5	„	oben	„	annähernd „ Pendel.
„ 177,	„ 7	„	„	„	fast „ Bewegung.
„ 220,	„ 25	„	„	lies	332 m statt 332 mal.
„ 237,	„ 7	„	„	„	Jupiter statt Jupiters.
„ 245,	„ 20	„	unten	„	Konvexspiegel statt Konkavspiegel.
„ 312,	„ 6	„	„	„	einer statt seiner.
„ 349,	„ 18	„	„	„	Pole statt Polen.
„ 385,	„ 17	„	oben	„	Hierin.
„ 389,	„ 10	„	„	„	$Q \cdot \frac{v^2}{2g}$ statt $Q \cdot \frac{v_2}{g2}$.
„ 395,	„ 6	„	„	„	Almagest statt Almegest.
„ 397,	„ 8	„	„	„	Elektromagnetismus.

Erste Lehrstufe.

I. Abschnitt.

Von den Körpern im allgemeinen.

Aggregatzustände und allgemeine Eigenschaften.*)

§ 1. Feste, flüssige und luftförmige Körper. Wenn wir die Körper, d. h. die Gegenstände, welche wir durch unsere Sinne um uns her wahrnehmen, miteinander vergleichen, so ergeben sich manche Unterschiede hinsichtlich der Gröfse, der Gestalt, Farbe, Festigkeit, des Geschmackes, Geruches u. s. w. Trotz der Mannigfaltigkeit, welche uns hierbei entgegentritt, lassen sich doch auch gemeinsame Merkmale an den Körpern entdecken.

Die meisten Körper, z. B. die aus Stein, Metall, Glas, Holz, Kork u. s. w. bestehenden, stimmen darin überein, dafs sie eine bestimmte Gestalt haben. Im Vergleich mit Wasser, Öl u. dgl. erscheinen sie uns *fest* oder *starr*. Wollen wir solche Körper teilen, oder etwa durch Druck oder Zug ihre Gestalt ändern, so leisten sie einen merklichen Widerstand, welcher bei dem einen Körper gröfser, bei dem anderen kleiner ist.

Die **festen Körper** haben eine bestimmte Gestalt und setzen der Veränderung ihrer Gestalt einen merklichen Widerstand entgegen.

Körper, wie Wasser, Öl, Quecksilber u. s. w., kennzeichnen sich dadurch, dafs sich ihre Teile äufserst leicht gegeneinander verschieben lassen; wegen dieses geringen Widerstandes ihrer Teile können sie fliefsen und werden daher *Flüssigkeiten* genannt. In sehr geringen Mengen nehmen dieselben, wenn sie nicht durch Berührung mit festen Körpern daran verhindert werden, eine bestimmte Gestalt an, nämlich die Kugelform (Tropfen), was sich am Wasser z. B. beim Regen oder Tau, beim Besprengen staubiger Flächen u. s. w. deutlich zu erkennen giebt. In gröfseren Mengen dagegen nehmen sie die Gestalt der Gefäfse an, in denen sie enthalten sind, und zeigen in ihrer Ruhelage überall,

*) Vgl. II. Lehrstufe § 51 ff.

wo sie nicht von der Gefäfswand begrenzt werden, eine ebene (wagerechte oder horizontale) Oberfläche.

Die Oberfläche des Meeres erscheint, da sie einen sehr grofsen Teil der Erdoberfläche bildet, gekrümmt. Dies ist daran zu erkennen, dafs von Schiffen, welche aus grofser Ferne sich nähern, zunächst nur die Spitzen der Masten gesehen werden können.

Flüssigkeiten nehmen in kleinen Mengen die Kugelgestalt, in gröfseren die Gestalt der Gefäfse an, in denen sie enthalten sind; bei einer Verschiebung ihrer Teile leisten sie einen kaum merklichen Widerstand.

Von den festen und flüssigen Körpern lassen sich nach bekannten Erfahrungen noch Körper unterscheiden, welche das auffällige Bestreben äufsern, einen immer gröfseren Raum einzunehmen und in jedem ihnen dargebotenen, noch so grofsen Raume sich vollständig auszubreiten. Zu diesen als *luftförmig* bezeichneten Körpern gehört z. B. das Leuchtgas, das sich sehr leicht in Zimmern verbreitet, wenn etwa die Zuleitungsröhren undicht sind, ferner die in zahlreichen Getränken enthaltene Kohlensäure, durch welche die Stöpsel fest verschlossener Flaschen oft mit heftigem Knalle fortgeschleudert werden, desgl. Pulvergase, sowie die zum Betriebe der Dampfmaschinen dienenden Wasserdämpfe u. s. w. Der verbreitetste aller derartigen Körper ist die uns überall umgebende Luft.

Luftförmige Körper haben überhaupt keine eigene Gestalt, sondern sind ausdehnsam, d. h. sie haben stets das Bestreben, sich nach allen Richtungen auszudehnen und jeden ihnen dargebotenen Raum ganz auszufüllen.

Alles, was wir durch unsere Sinne wahrzunehmen vermögen, fassen wir zusammen in dem Worte Natur; die einzelnen sinnlich wahrnehmbaren Gegenstände werden Naturkörper, die drei Zustände (fest, flüssig, luftförmig), in denen sie auf der Erde vorkommen, Aggregatzustände[1]) genannt.

Die flüssigen Körper werden auch als tropfbar flüssige, die luftförmigen als ausdehnsam flüssige Körper bezeichnet.

Übungsstoff. 1. Nenne metallische K., bei denen der Widerstand, welchen sie einer Veränderung ihrer Gestalt entgegensetzen, sehr verschieden ist. — 2. Wie läfst sich dies nachweisen a. mit Hülfe von Werkzeugen, b. ohne besondere Hülfsmittel? — 3. Vgl. in dieser Beziehung auch K. miteinander, welche nicht aus Metall bestehen, und führe an, wodurch sich solche Unterschiede zu erkennen geben? — 4. Ein fester und ein flüssiger K. seien in mehrere Teile geteilt. Welcher wesentliche Unterschied zeigt sich, wenn man die Teile wieder miteinander in Berührung bringt? — 5. Ein Papierstreifen sei an einem Ende mit W. in Berührung gebracht und werde darauf langsam gehoben. a. Wie giebt sich dabei ein innerer Zusammenhang des W. zu erkennen? b. Bei welcher Haltung des Streifens tritt der Widerstand, den das W. einer Trennung seiner Teile entgegensetzt, am deutlichsten hervor? — 6. Wie läfst sich nachweisen, dafs ein W.- oder Öltropfen der Veränderung seiner Gestalt einen Widerstand entgegensetzt? — 7. Eine Flasche ent-

[1]) aggregare, anhäufen.

halte eine Menge Luftblasen (Seifenschaum). Welche Ersch. wird eintreten, wenn man durch Ansaugen Luft aus der Flasche entfernt? — **8.** Für welche Eigenschaft der Luft ist jene Ersch. ein Beweis; inwiefern? — **9.** Warum kann man W. nicht ebenso (7.) aus einer Flasche entfernen, wohl aber Wasserdampf? — **10.** Welcher K. ist auf der Erde in allen 3 Aggregatzuständen sehr verbreitet? — **11.** Führe bekannte Erschn. an, welche beweisen, dafs a. stark erhitzte Wasserdämpfe, b. die durch das Entzünden von Schiefspulver und Sprengstoffen entstehenden Gase jene Eigenschaft (8.) in hohem Grade besitzen.

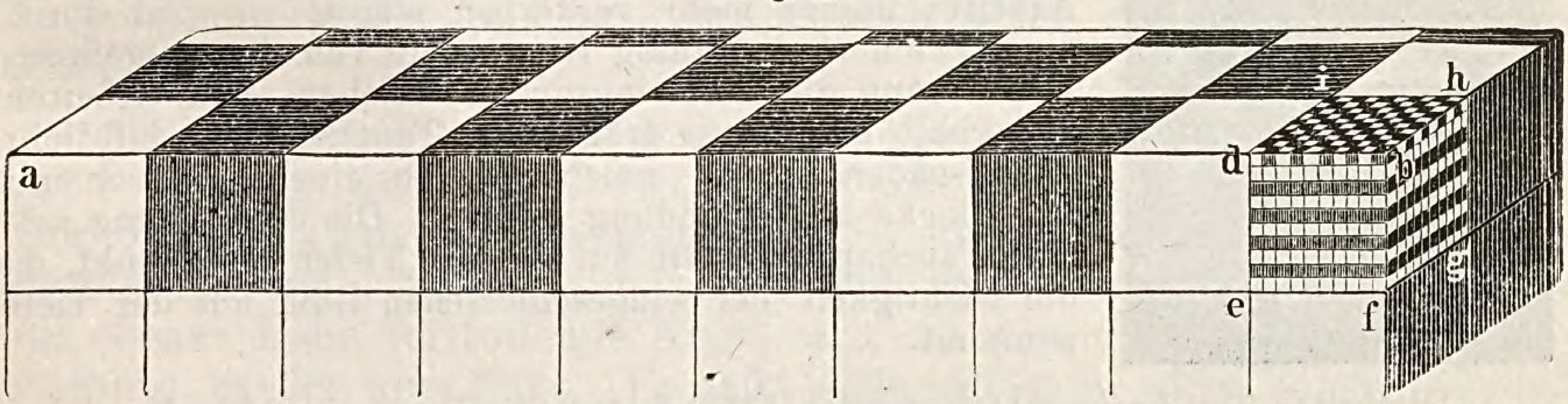
§ 2. Ausdehnung und Undurchdringlichkeit. Alle festen, flüssigen und luftförmigen Körper stimmen wiederum in gewissen Eigenschaften überein. Jeder feste Körper z. B. hat eine gewisse *Länge, Breite, Höhe* (Dicke oder Tiefe), er nimmt also einen Raum ein. Die flüssigen Körper füllen den Innenraum der Gefäfse, in denen sie enthalten sind, ganz oder teilweise aus. Die luftförmigen Körper haben das Bestreben, jeden ihnen dargebotenen Raum ganz auszufüllen.

Jeder Körper nimmt einen Raum ein; er hat eine **Ausdehnung.**

Die Gröfse des von einem Körper eingenommenen Raumes nennt man sein Volumen, d. h. seinen Rauminhalt.

Als Mafs für die räumliche Ausdehnung der Körper dienen allgemein die Würfel unserer Längenmafse (Fig. 1), d. h. des Meters, Decimeters (a b

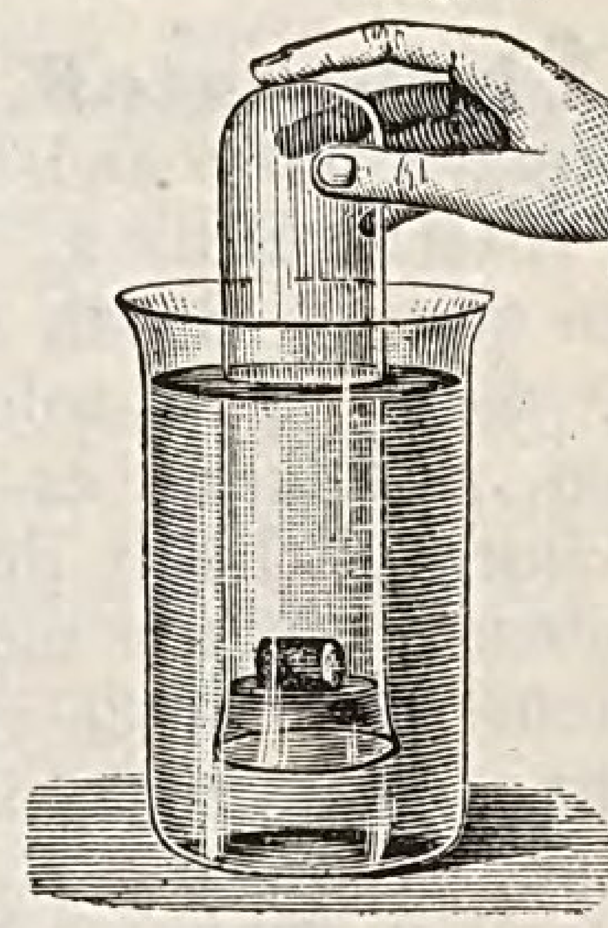
Fig. 1.



der Figur), Centimeters (d b) und Millimeters. Für Flüssigkeiten bildet das Kubikdecimeter oder Liter die Einheit.

Soll ein fester Körper an dieselbe Stelle gebracht werden, an welcher ein anderer fester Körper sich befindet, so mufs letzterer vorher entfernt werden (Beispiel!). Ist ein Gefäfs bis zum Rande mit einer Flüssigkeit gefüllt, so fliefst diese beim Eindringen eines andern festen oder flüssigen Körpers über. Dafs auch der von einem luftförmigen Körper erfüllte Raum nicht zugleich von anderen Körpern eingenommen werden kann, lehrt z. B. die bekannte Erscheinung, welche jedesmal eintritt, wenn ein Gefäfs mit enger Öffnung, etwa eine Flasche, sich unter Wasser füllt (welche Ersch.?). Am deutlichsten tritt es hervor, wenn ein Gefäfs umgekehrt etwa über einen Kork in eine Flüssigkeit eingetaucht wird (Versuch nach Fig. 2). Bei tiefem Eintauchen wird die eingeschlossene Luft hierbei durch das Wasser merklich zusammengedrückt.

Fig. 2.



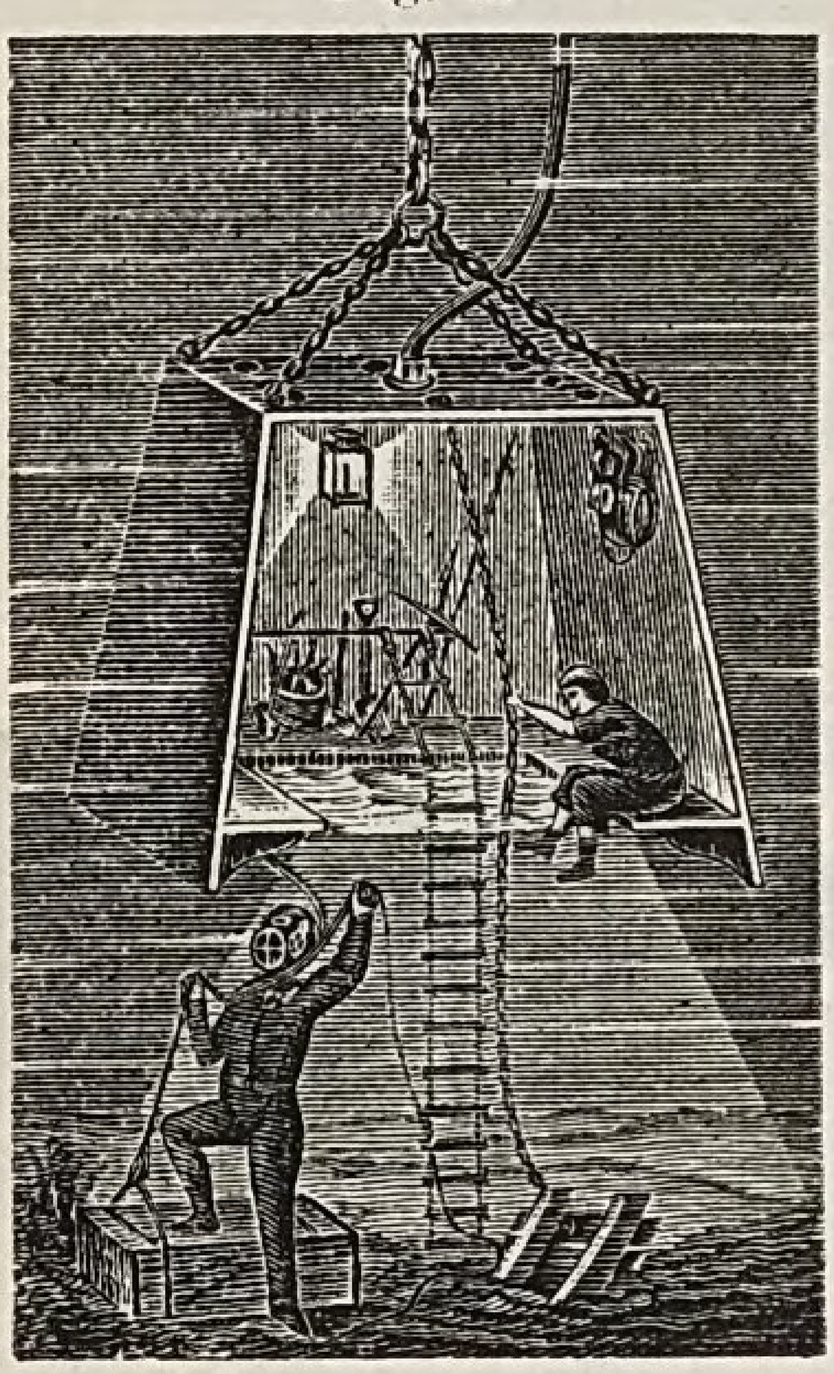
An derselben Stelle, an welcher sich ein Körper befindet, kann nicht gleichzeitig ein anderer Körper sein; diese Eigenschaft der Körper wird **Undurchdringlichkeit** oder **Sperrigkeit** genannt.

Das, was den von einem Körper eingenommenen Raum ausfüllt, und sich dem Eindringen in diesen Raum widersetzt, wird als Stoff, Substanz oder Materie bezeichnet. Die Menge des Stoffes, welche den Raum eines Körpers erfüllt, heifst Masse des Körpers.

Bem. Man verwechsele die drei Ausdrücke **Ausdehnung**, **Ausdehnbarkeit** und **Ausdehnsamkeit** nicht miteinander. Ein Körper hat eine Ausdehnung, heifst: er nimmt einen Raum ein; er ist ausdehnbar, heifst: der Raum, welchen er einnimmt, läfst sich vergröfsern (Kautschuk läfst sich auseinanderziehen u. s. w); ein Körper ist ausdehnsam, bedeutet: er hat das Bestreben, einen immer gröfseren Raum einzunehmen (luftförmige Körper).

Auf der Undurchdringlichkeit oder Sperrigkeit der Luft beruht die Anwendung der **Taucherglocken**, in denen Arbeiter mit den nötigen Werkzeugen in tiefe Gewässer hinabgelassen werden, um unter Wasser gewisse, längere Zeit erfordernde Arbeiten auszuführen, z. B. versunkene Gegenstände zu heben, Fundamente zu Wasserbauten herzustellen u. dgl. (Fig. 3). Eine Taucherglocke besteht aus einem grofsen eisernen Kasten, welcher oben mit starken Glasfenstern versehen und unten offen ist. Da die Luft in der Taucherglocke durch das Atmen der Arbeiter immer mehr verderben würde, so wird durch einen Schlauch beständig frische Luft von oben zugeführt. Unten kann die Luft ringsum entweichen. Zum Arbeiten aufserhalb der Glocke trägt jeder Taucher einen luftdicht schliefsenden Anzug, welcher durch einen Schlauch mit der Glocke in Verbindung steht. — Die Anwendung solcher Tauchapparate ist auf gewisse Tiefen beschränkt, da die Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft mit der Tiefe zunimmt.

Fig. 3.



Die ersten Tauchapparate (erfunden 1716) hatten die Form einer Glocke, daher der Name Taucherglocke. In neuester Zeit werden meist nur Taucheranzüge angewandt. Hierbei trägt der Taucher zu längerem (mehrstündigem) Aufenthalte unter Wasser einen Luftbehälter auf den Rücken, welcher durch einen Schlauch mit der Luftpumpe verbunden ist; die ausgeatmete Luft kann durch Ventile entweichen.

Übungsstoff. 1. Der Rauminhalt eines unregelmäfsig gestalteten K., etwa eines Steines, läfst sich annähernd dadurch finden, dafs man den K. an einem Faden in W. untertaucht. a. Wie müfste man weiter verfahren, wenn der Innenraum des Gefäfses seitlich durch Querstriche in ccm geteilt wäre? b. Wie könnte man verfahren, wenn eine solche Teilung fehlte? — 2. In Holz kann man Nägel einschlagen, man kann es durchbohren u. s. w. Warum ist dies kein Beweis gegen die Undurchdringlichkeit des Holzes? — 3. Warum läfst sich für Luft diese Eigenschaft nicht ebenso einfach nachweisen, wie für Flgkn.? — 4. Begründe dieselbe aus dem Gebrauche der Taucherglocke. — 5. Ein Glascylinder werde senkrecht in W. eingetaucht. Wie wird sich dabei der Stand des vom Cylinder eingeschlossenen W. verhalten, wenn der Cylinder a. an beiden Enden offen, b. oben verschlossen ist? Grund! — 6. Ein auf W. schwimmender Kork oder dergl. soll, ohne dafs man ihn berührt, unter den Wasserspiegel im Gefäfse hinabsinken. Wie läfst sich dies bewerkstelligen? (Fig. 2.) — 7. Welche Vorteile gewährt bei einer Taucherglocke die Zuführung von Luft? (In 10 m Tiefe würde der Luftraum nur halb so grofs

sein.) — 8. Nur unter welcher Bedingung kann das in den offenen Trichter (Fig. 4) gegossene W. nicht hindurchfliefsen? Grund! — 9. Warum darf hierbei die Mündung der Trichterröhre nicht jede beliebige Weite haben? — 10. Was ergiebt sich hieraus (8. und 9.) für den Gebrauch des Trichters im praktischen Leben? — 11. Wodurch wird das beim Gebrauche eines Trichters oft entstehende zischende Geräusch hervorgerufen? — 12. Wenn die Flgk. in dünnem Strahle in den Trichter gegossen wird, so tritt jenes Geräusch nicht so leicht ein; w.? — 13. Wie läfst sich nachweisen, dafs offene Gefäfse, welche nach dem Sprachgebrauche als leer bezeichnet werden, in Wirklichkeit doch nicht leer sind?

Fig. 4



§ 3. Trägheit oder Beharrungsvermögen. Zahlreiche Erfahrungen belehren uns darüber, dafs ruhende Körper nicht von selbst in Bewegung geraten können, sondern einer äufseren Einwirkung bedürfen, damit sie den Ort, an welchem sie sich befinden, und ihre Lage gegen andere Körper ändern. (Beispiele!) Nur in wenigen Fällen hat es den Anschein, als ob eine solche Einwirkung nicht zu erfolgen brauchte. Damit z. B. ein Stein zur Erde falle, bedarf es keines äufseren Anstofses; eine Kugel vermag ohne Stofs auf schräger Bahn hinabzurollen u. s. w. Da jedoch sowohl der Stein als die Kugel erst auf die Höhe, aus der sie fallen, hinaufgehoben werden müssen, und hierbei einen Widerstand leisten, so schliefsen wir, dafs dieselbe Ursache, welche beim Heben des Körpers den Widerstand hervorruft, auch beim Fallen die Bewegung erzeugt.

Bei Körpern, welche sich in Bewegung befinden, macht es sehr häufig den Eindruck, als ob sie von selbst wieder zur Ruhe kämen. So kommt z. B. ein auf glatter Eisfläche fortgestofsener Stein, jedes noch so schnell umlaufende Schwungrad, jede auf ebener Bahn fortrollende Kugel u. s. w. scheinbar ohne äufsere Einwirkung wieder zur Ruhe. Es läfst sich jedoch in allen solchen Fällen nachweisen, dafs äufsere Hindernisse die Bewegung aufheben, sowie dafs sich die Bewegung um so länger fortsetzt, je mehr diese Hindernisse beseitigt werden. Berücksichtigt man nämlich, wie lange ein und derselbe Körper bei gleicher Anfangsgeschwindigkeit seine Bewegung fortsetzt, so ergiebt sich, dafs die Beschaffenheit der Fläche, auf welcher der Körper gleitet oder rollt, einen wesentlichen Einflufs auf die Dauer der Bewegung ausübt (Reibung). Je glatter die Fläche ist, desto länger dauert die Bewegung. Aufserdem leistet auch die Luft, welche der Körper bei seiner Bewegung vor sich her verdrängen mufs (bei Schiffen das Wasser), einen Widerstand. Hieraus läfst sich schliefsen, dafs jeder Körper seine einmal angenommene Bewegung unverändert beibehalten würde, wenn gar kein Hindernis für ihn vorhanden wäre. Beispiele von ununterbrochener Bewegung sind die Bewegungen der Himmelskörper.

Die Körper können weder von selbst in Bewegung geraten, noch eine Bewegung, die sie einmal angenommen haben, von selbst ändern: **Trägheit** oder **Beharrungsvermögen.**

Jede Ursache, durch welche eine Änderung in dem Ruhe- oder Bewegungszustande eines Körpers hervorgerufen werden kann, wird **Kraft** *genannt.*

Infolge der Trägheit der Körper ist stets eine gewisse Zeit dazu erforderlich, dafs Ruhe und Bewegung ineinander übergehen. Ein ruhender Eisenbahnzug kann nicht plötzlich schnell fahren, und umgekehrt. Zieht die Lokomotive anfangs zu stark an, so zerreifsen die Verbindungsketten, weil die Bewegung sich nicht so schnell auf die Wagen übertragen kann; stofsen zwei schnell fahrende Züge gegeneinander, so werden oft ohne weitere Einwirkung des Dampfes Lokomotive und Wagen zertrümmert, da diese ihre Bewegung fortsetzen wollen. Schlägt eine abgeschossene Kugel gegen eine leicht bewegliche Thür, so wird diese durchlöchert, aber kaum merklich bewegt, da die Zeit der Einwirkung zu kurz ist u. s. w.

Übungsstoff. **1.** Nenne Kräfte, welche im täglichen Leben zur Erzeugung von Bewegungen angewandt werden? — **2.** Inwiefern hat man nach bekannten Erfahrungen sowohl auf die Schnelligkeit der Bewegung, als auf die Masse des K. Rücksicht zu nehmen, wenn man einen bewegten K. wieder zur Ruhe bringen will? Beispiel! — **3.** Führe einige Fälle an, in denen ein K. durch einen geringen, aber andauernden Druck mit dem Finger sich leichter bewegen läfst, als durch einen kräftigen Schlag mit dem Hammer. — **4.** Durch einen Wurf sei eine Fensterscheibe zersplittert, eine andere nur durchlöchert. Wie sind diese Erschn. zu erklären, wenn die Steine, mit denen der Wurf ausgeführt wurde, sich durch ihre Gröfse und Form nicht wesentlich unterscheiden? — **5.** Nach welcher Seite fliefst der Inhalt eines gefüllten Tellers leicht über, wenn man diesen schnell fortzieht? Erkl.! — **6.** Auf einem Wagen fällt man leicht nach hinten über, wenn er plötzlich angezogen wird, dagegen nach vorn, wenn er plötzlich stillsteht. Erkläre dies. — **7.** In welcher Richtung fällt man leicht zu Boden, wenn man von einem schnell fahrenden Wagen hinten so abspringt, dafs der Rücken dem Wagen zugewandt ist? — **8.** Wie kann man ohne grofse Gefahr von einem nicht zu schnell fahrenden Wagen abspringen, u. w.? — **9.** Warum ist es gefährlich, bergab schnell zu laufen oder zu fahren? — **10.** Welcher Gefahr ist ein Reiter ausgesetzt, wenn das Pferd im schnellsten Laufe plötzlich stillsteht, u. w.? — **11.** Wie erklärt es sich, dafs Kugeln noch fortfliegen, wenn das Pulver nicht mehr auf sie einwirken kann? — **12.** Auf dem Deck eines schnell fahrenden Schiffes kann man einen senkrecht aufwärts geworfenen Ball vom Schiffe aus auch wieder auffangen, obgleich es doch scheint, als ob das Schiff darunter wegfahren müfste. Erkl.! — **13.** Wie mufs man verfahren, um von zwei aufeinander liegenden Büchern das untere so wegzuziehen, dafs das obere, ohne berührt zu werden, liegen bleibt? Grund! — **14.** Worüber kann der in Fig. 5 dargestellte, bekannte Versuch uns belehren? Beschreibung und Erkl.! — **15.** Wie pflegt man Hämmer, Äxte u. s. w. auf ihren Stielen zu befestigen? Erkl.!

Fig. 5.



Wirkungen der Schwerkraft.*)

§ 4. Schwere. Wenn man einen festen Körper, etwa einen Stein, frei in der Hand hält, so empfindet man einen **Druck**; hält man den Körper frei an einem Faden, so ist ein **Zug** bemerkbar. Schraubenförmig gewundene Drähte, elastische Schnüre u. dgl. strecken sich, wenn Körper frei daran aufgehängt werden (Fig. 6, folg. Seite). Druck und Zug sind abwärts gerichtet und bei verschiedenen Körpern von ungleicher Stärke. (Beispiele!) — Wird dem unterstützten Körper seine Unterlage

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 56.

entzogen, so **fällt er** in derselben Richtung, in der er vorher den Druck ausübte, zur Erde, wie der aufgehängte Körper sich selbst überlassen in der Richtung des ausgeübten Zuges niederfällt.

Fig. 6.

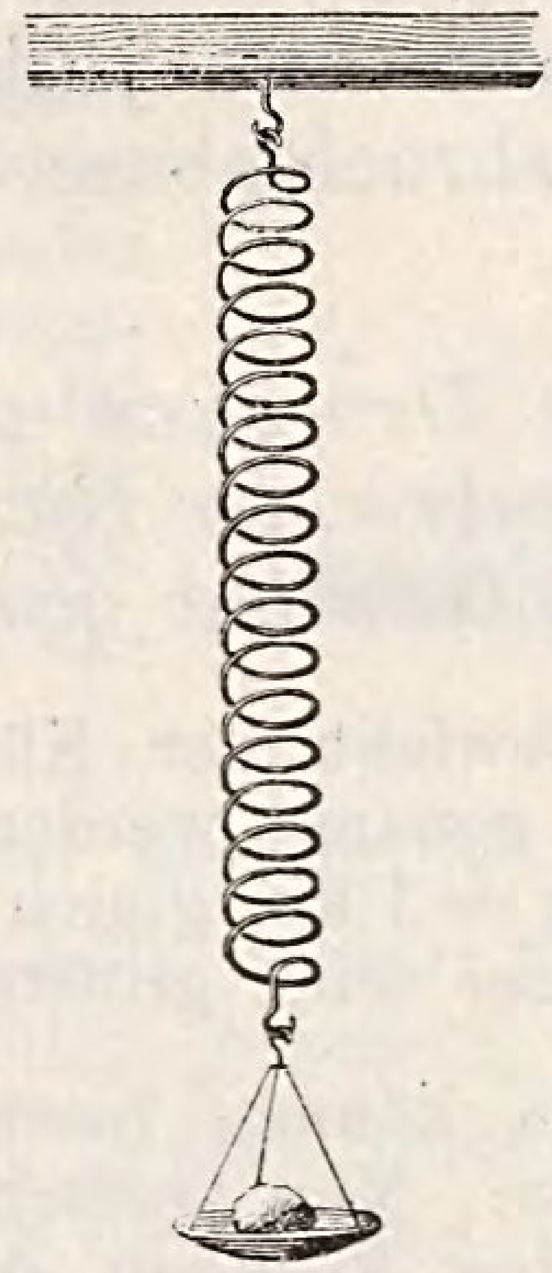
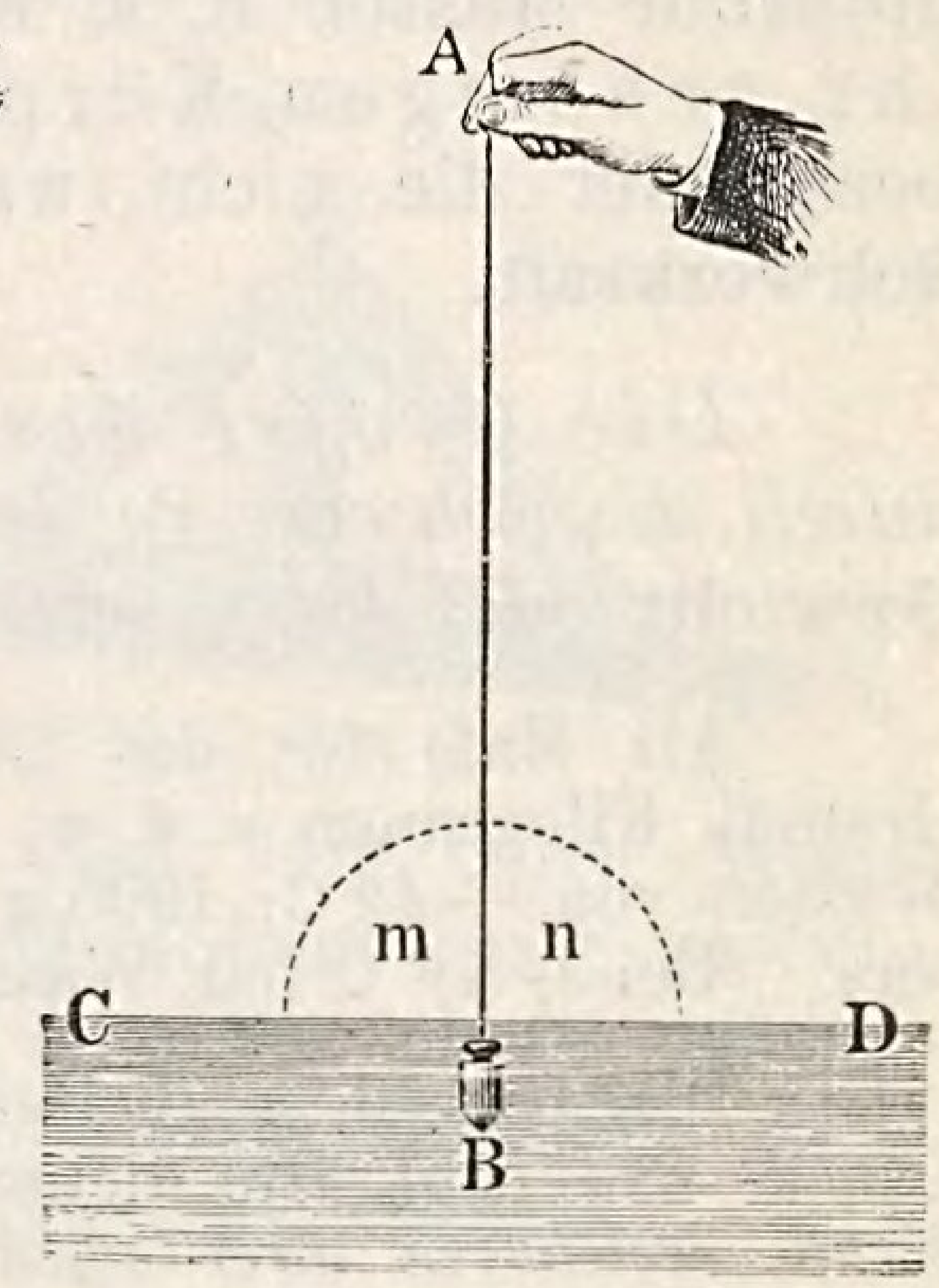


Fig. 7.



Die Richtung, welche der Faden (AB. Fig. 7) *eines frei aufgehängten Körpers in seiner Ruhelage hat, wird* **senkrecht**, *auch* **lotrecht** *oder* **vertikal**[1]) *genannt; dieselbe bildet mit der Oberfläche* (CD) *stillstehenden Wassers rechte Winkel* (∢ m = n = 1 R).

Die gleichen Wahrnehmungen machen wir bei den Flüssigkeiten. Jedermann weifs, dafs ein Gefäfs nicht so leicht gehoben werden kann, wenn es mit einer Flüssigkeit gefüllt, als wenn es leer ist. Der Druck oder Zug, welchen wir beim Heben des Gefäfses empfinden, ist ebenfalls abwärts gerichtet und um so gröfser, je mehr Flüssigkeit das Gefäfs enthält. Regentropfen fallen bei ruhiger Luft in derselben Richtung herab, in der ein frei fallender Stein sich gegen den Boden hin bewegt u. s. w.

Die luftförmigen Körper lassen jene Eigenschaft zwar nicht so leicht erkennen, doch weisen gewisse allgemein bekannte Erscheinungen deutlich darauf hin, dafs auch ihnen dieselbe zukommt, namentlich liefert die Anwendung sehr empfindlicher Wagen einen sicheren Beweis dafür. Taucht man z. B. eine Röhre in Wasser ein, so steigt dieses darin hinauf, sobald man die Luft etwa durch Ansaugen oder Aufziehen eines Kolbens aus der Röhre entfernt (Trinken durch einen Strohhalm, Füllen einer Handspritze u. s. w.). Wir schliefsen hieraus, dafs die auf dem Wasser ruhende Luft einen Druck auf dasselbe ausübt, und finden die Richtigkeit dieses Schlusses dadurch bestätigt, dafs leichte, verschlossene Gefäfse (z. B. ein Glasballon) auf eine empfindliche Wage einen merklich stärkeren Druck oder Zug ausüben, wenn sie mit einem luftförmigen Körper gefüllt, als wenn sie leer sind. (1 Liter der uns umgebenden Luft wiegt etwas mehr als 1 ccm Wasser.)

Wegen der Kugelgestalt der Erde müssen jene Richtungen des Druckes, Zuges und freien Falles der Körper im *Mittelpunkte der Erde* zusammentreffen.

Alle Körper auf der Erde sind **schwer**, d. h. sie haben das Bestreben, sich geradlinig dem Mittelpunkte der Erde zu nähern. Ein unterstützter oder frei aufgehängter Körper übt daher einen senkrechten Druck oder Zug aus; ein nicht unterstützter Körper fällt senkrecht abwärts.

[1]) vertex, Scheitel, Gipfel.

Da die oben angeführten Erscheinungen überall auf der Erde vorkommen, und selbst aus bedeutenden Höhen Körper zur Erde niederfallen (in die Höhe geschossene Kugeln, aus Vulkanen geschleuderte, glühende Massen u. s. w.), so nimmt man an, dafs die Erde alle zu ihr gehörigen Körper aus jeder Entfernung anzieht, und bezeichnet die nicht wahrnehmbare Ursache dieser Erscheinungen als **Schwerkraft.**

Die Gröfse des Druckes oder Zuges, welchen ein Körper durch die Schwere in senkrechter Richtung ausübt, wird sein **absolutes Gewicht** *oder kurz sein* **Gewicht** *genannt.*

Als Mafs für das Gewicht der Körper dienen Gewichtseinheiten, welche Gramm, Kilogramm u. s. w. genannt werden. 1 g ist das Gewicht von 1 ccm reinen Wassers von $+4^0$ C; 1000 g = 1 kg, gleich dem Gewicht von 1 Liter solchen Wassers. (Bei $+4^0$ C hat Wasser seine gröfste Dichtigkeit.)

Die Gewichtseinheiten können hiernach zugleich als einfachstes Mafs für Druck- und Zugkräfte dienen. Man bezeichnet daher auch als *Krafteinheit eine Kraft, welche in ihrer eigenen Richtung einen ebenso grofsen Druck oder Zug zu bewirken vermag, wie 1 kg in senkrechter Richtung ausübt.*

Bem. Die beiden Ausdrücke **Schwere** und **Gewicht** dürfen nicht miteinander verwechselt werden, da Schwere die Ursache, Gewicht dagegen die Wirkung bezeichnet. Ein Körper von bedeutendem Gewichte würde demnach gegen den Sprachgebrauch als gewichtig und nicht als schwer zu bezeichnen sein.

Eine allgemeine und sehr nützliche Anwendung findet die Schwere bei unseren Wanduhren, bei denen die Gewichtstücke durch den Zug, welchen sie ausüben, das Räderwerk in Bewegung halten.

Die **Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Trägheit** und **Schwere** sind, da sie allen Körpern ohne Ausnahme zukommen, **allgemeine Eigenschaften** der Körper.

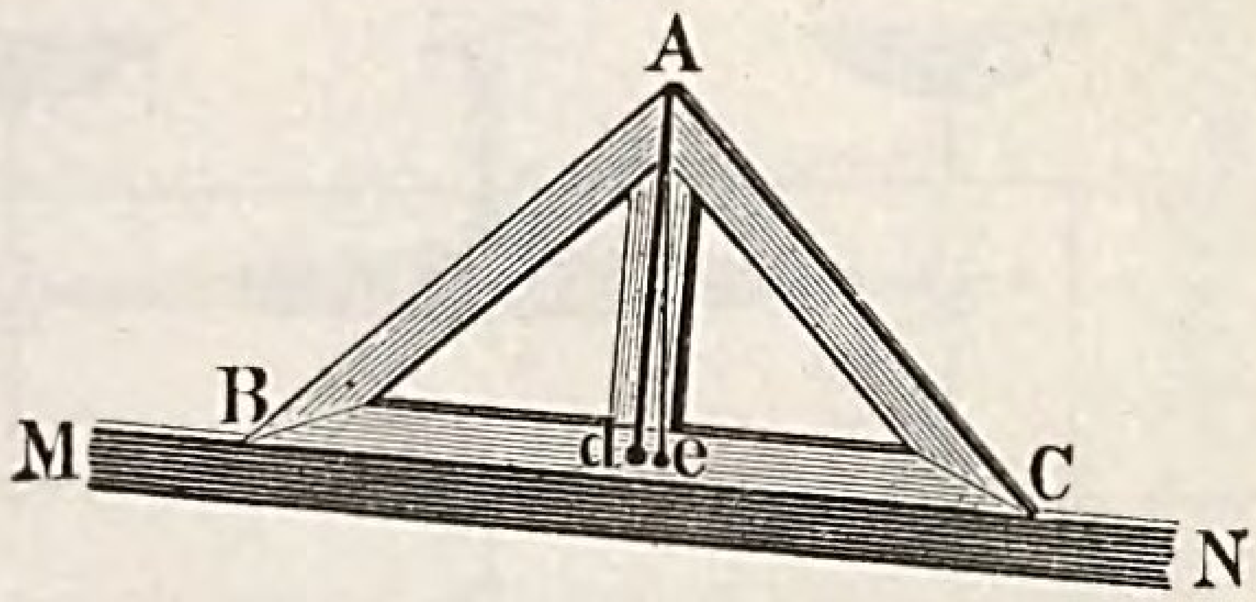
Übungsstoff. 1. Nenne feste K., welche bei gleicher Gröfse einen sehr ungleichen Druck oder Zug ausüben. — 2. Wie läfst sich letzteres mittelst eines dünnen Stahlstabes sichtbar nachweisen? — 3. Wie läfst sich mit Hülfe eines gewundenen Drahtes (Fig. 6) oder einer elastischen Schnur untersuchen, ob 2 K. gleiches Gewicht haben? — 4. Wie ferner, ob das Gew. eines K. a. das Doppelte, b. das Dreifache, c. das Vierfache von dem Gew. eines anderen K. beträgt? — 5. Bei derartigen Gewichtsbestimmungen kommt eine sehr wichtige besondere Eigenschaft der K. zur Anwendung, welche Elasticität*) genannt wird. Worin besteht dieselbe nach dem Verhalten, welches Stahlstab, Draht und Schnur dabei zeigen? — 6. Wv. wiegt a. 1 ccm, b. 1 Liter, c. 1 cbm W.? — 7. Welche Richtung hat die Oberfläche einer Flgk. in einem schräg stehenden Gefäfse? — 8. Warum kann ein frei hängendes Lot nicht mit der Oberfläche aller Gewässer nach jeder Richtung rechte Winkel bilden? — 9. Was wird eintreten, wenn man das Gewichtstück einer Wanduhr ein wenig aufhebt, u. w.? — 10. In einer langen Glasröhre soll eine Bleikugel so hinabfallen, a. dafs sie die Röhre während des Fallens nicht berührt, b. dafs man sie darin hinabrollen hört. Wie ist dies auszuführen? — 11. Wie erklärt es sich, dafs in die Höhe geschossene Kugeln wieder zur Erde zurückkommen? — 12. Was sollte man nach § 3 von denselben eigentlich erwarten, u. w.? — 13. Warum können die Fallrichtungen zweier weit voneinander entfernten K. nicht parallel sein? — 14. Welche Richtung haben zwei viele Meilen voneinander entfernte Türme gegeneinander, u. w.?

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 53.

§ 5. Lot und Wage.*) Zur Bestimmung der senkrechten Richtung wird im täglichen Leben das sogen. **Lot** angewandt. Es besteht aus einer Schnur, an deren unterem Ende eine Bleikugel oder ein walzenförmiges, nach unten zugespitztes Stück Messing befestigt ist (AB, Fig. 7).

Um zu beurteilen, ob ein Gegenstand senkrecht steht, hält man das Lot daneben und vergleicht die Richtung des Gegenstandes mit der Richtung der Schnur. — In Verbindung mit einem hölzernen Gestelle von der Form eines gleichschenkligen Dreieckes läfst sich das Lot in vielen Fällen auch zur Bestimmung der wagerechten Richtung anwenden (**Setzwage**, Fig. 8).

Fig. 8.



Das Gewicht der Körper bestimmt man mit einer **Wage**, deren wesentlichster Teil entweder von einem schraubenförmig gewundenen Stahldrahte, auch Schraubenfeder genannt, oder von einem unbiegsamen, wie eine Wippe drehbaren Stabe oder Balken gebildet wird. Man unterscheidet hiernach Federwagen und Balkenwagen.

a. Die **Federwage**. Die Schraubenfeder derselben ist gewöhnlich in ein walzenförmiges Gehäuse eingeschlossen, das zur Angabe des Gewichtes entweder selbst mit einer numerierten Teilung versehen ist (Fig. 9), oder vorn eine kreisförmige Scheibe trägt, auf deren Rande ein Zeiger das Gewicht anzeigt. Je nachdem die Wage zum Stehen oder Hängen eingerichtet ist, befindet sich die Wagschale oben auf einem Stabe oder sie ist unten an Ketten so befestigt, dafs die Feder durch die Last zusammengedrückt wird.

Fig. 9.

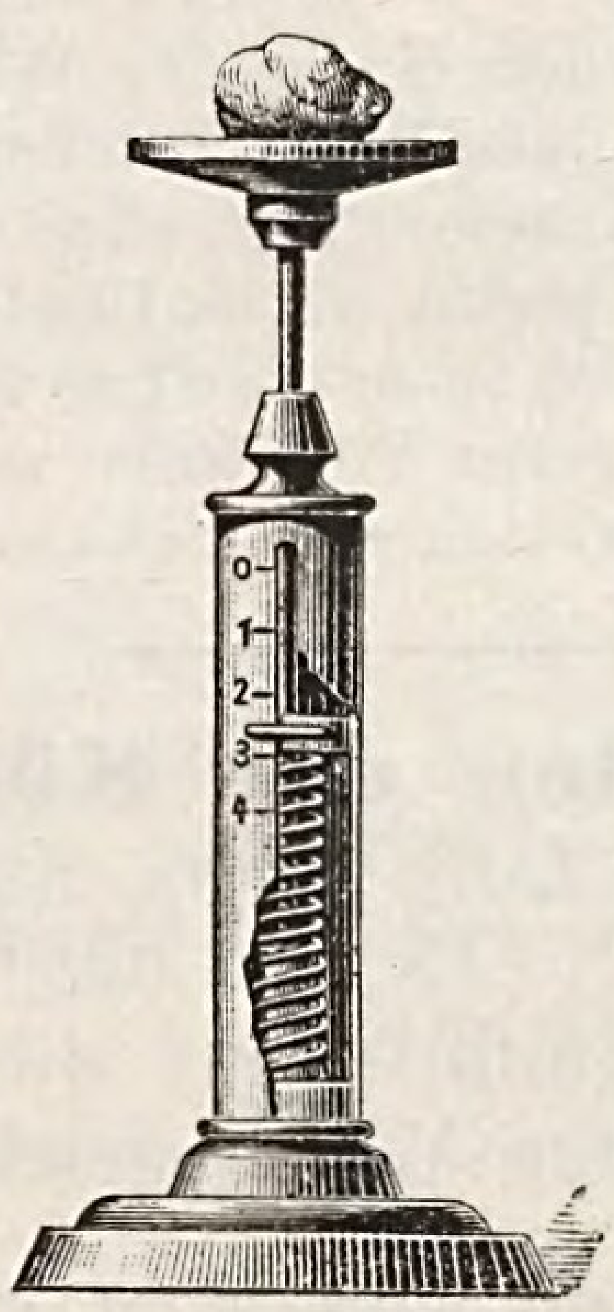
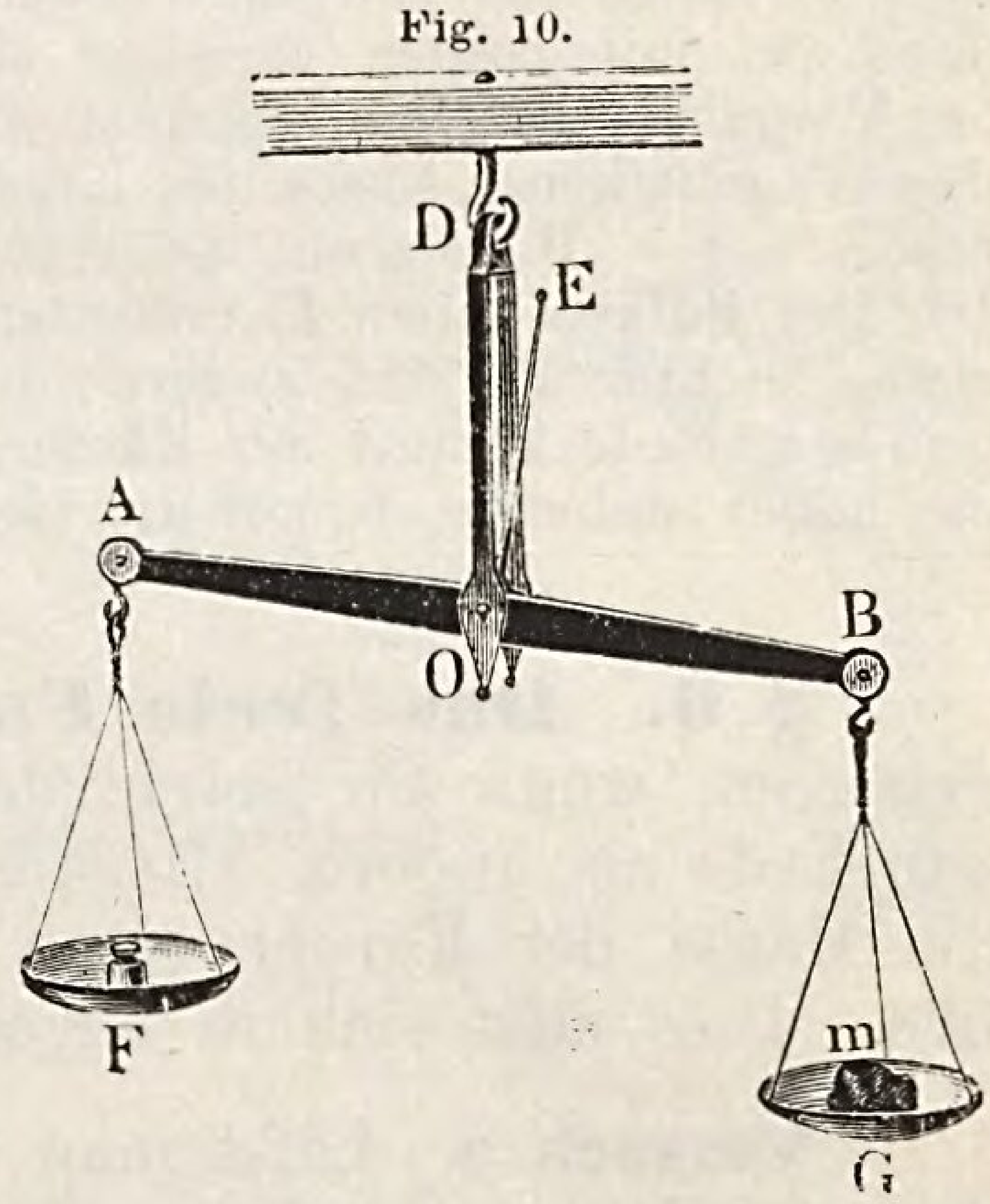


Fig. 10.

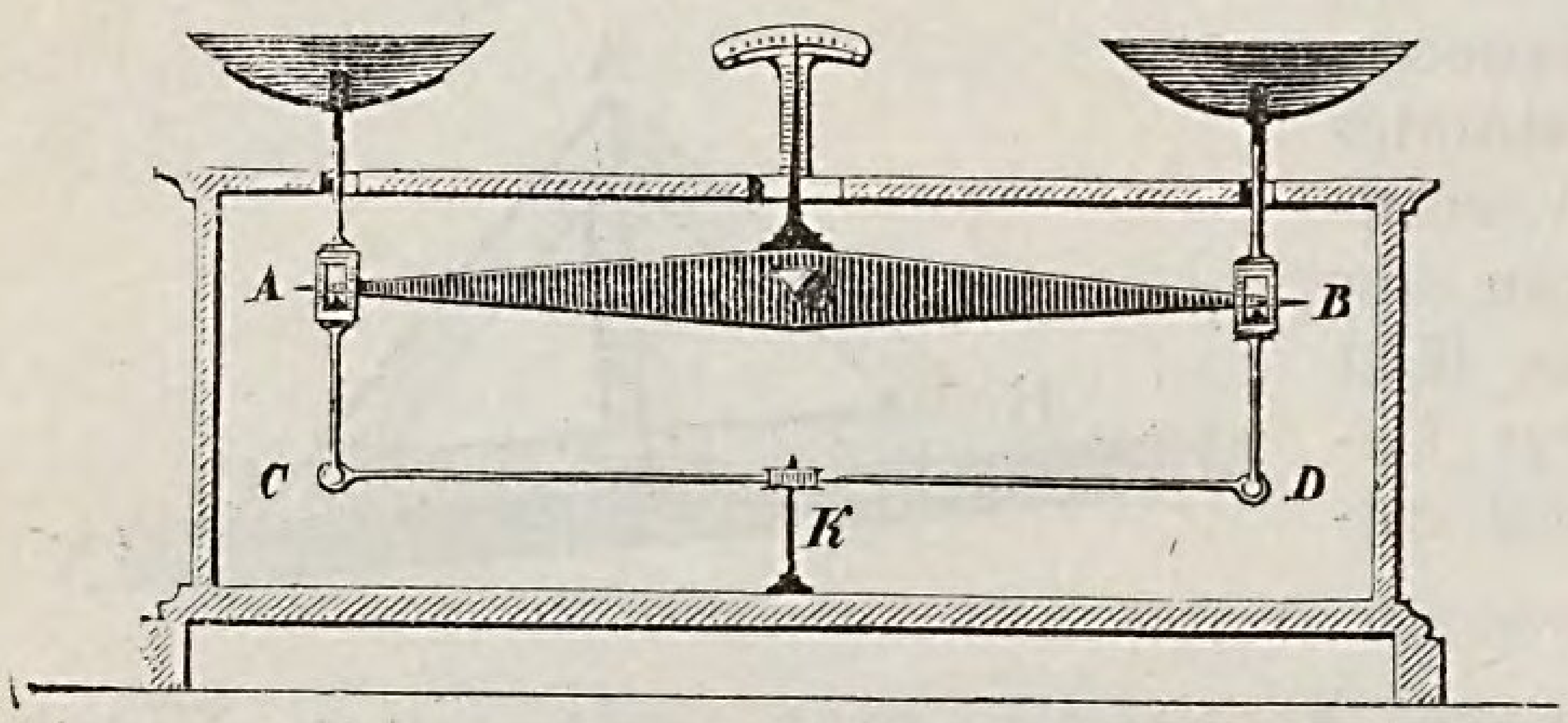


b. Die **gemeine Krämerwage** (Fig. 10). Sie ist von den Balkenwagen die gebräuchlichste. Der unbiegsame Balken derselben (Wagebalken, AB) ist in seiner Mitte in einer gabelförmigen Schere (DO) so aufgehängt, dafs er sich um eine quer gerichtete Achse sehr leicht drehen läfst und nach jeder Bewegung in wagerechter Lage zur Ruhe kommt. Die Achse ist entweder rund oder unten zugeschärft (Fig. 11, folg. Seite). Senkrecht über derselben ist auf dem Wagebalken die stabförmige Zunge (EO) befestigt, welche anzeigt, ob der Balken genau wagerecht steht. An den Enden des Wagebalkens hängen zwei Schalen, von denen die eine für die Gewichtstücke, die andere für die Ware bestimmt ist. Bei wagerechter Stellung des Balkens geben die Gewichtstücke das Gewicht der Ware an.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 69.

Letzteres läfst sich dadurch nachweisen, dafs man die Ware (m) bei wagerechter Stellung des Wagebalkens (Fig. 10) mit einem andern Körper (z. B. Bleischrot) vertauscht, welcher an der Stellung des Balkens nichts ändert, und darauf die Ware an Stelle des Gewichtstückes auf die andere Schale legt. Wie ist hierbei zu schliefsen?

Fig. 11.



Zum bequemen Abwägen von Waren wird im Haushalt vielfach die **oberschalige Tafelwage** (erfunden von Roberval) gebraucht (Fig. 11). Dieselbe besteht in der Hauptsache aus zwei um ihre Mittelpunkte drehbaren Balken (AB und CD), welche durch zwei senkrechte Stangen (AC und BD) zu einem beweglichen Parallelogramm verbunden sind und oben die Wagschalen tragen. Bei horizontaler Lage der Balken ist Gleichgewicht vorhanden.

Übungsstoff. 1. Wie läfst sich ermitteln, ob eine Mauer senkrecht steht? — **2.** Welchen Zweck hat die Spitze unten am Lot? — **3.** Desgl. die Linie, welche an der Setzwage die Spitze des Dreiecks mit der Mitte der Basis verbindet? — **4.** Wie läfst sich eine Setzwage auf ihre Richtigkeit prüfen? — **5.** Beim Gebrauche der Setzwage wird gewöhnlich eine Latte (Richtscheit) zu Hülfe genommen; w.? — **6.** Wie lassen sich an einer Federwage die Punkte bestimmen, welche zur Angabe des Gew. mit Zahlen versehen sind? — **7.** Inwiefern kann die Form der Achse des Wagebalkens einen Einflufs auf den Gang der Wage ausüben? — **8.** Die Achse des Wagebalkens, sowie das Lager desselben bestehen gewöhnlich aus sehr hartem Stahl, w.? — **9.** Warum ist eine Krämerwage ohne Zunge weniger brauchbar? — **10.** Der Balken einer Krämerwage stehe unbelastet schräg (der eine Arm sei etwas leichter als der andere), nach der Belastung dagegen wagerecht. In welchem Falle kommt der Käufer, resp. Verkäufer zu kurz, wenn die Ware a. auf die höher stehende, b. auf die tiefer stehende Schale gelegt war?

§ 6. Das freie Fallen der Körper.*) Manche Körper gelangen, wenn sie frei in der Luft fallen, aus gleicher Höhe schneller zur Erde als andere. (Beispiel!) Es hat hiernach den Anschein, als ob die Masse der Körper einen Einflufs auf die Fallgeschwindigkeit ausübe. Dies läfst sich in folgender Weise prüfen:

Versuch a. Läfst man eine wagerecht gehaltene Münze mit einem darauf gelegten Stückchen Papier frei fallen, so kommen beide Körper gleichzeitig unten an; fallen die beiden Körper neben- oder nacheinander, so bleibt das Papier weit zurück. — Erklärung:

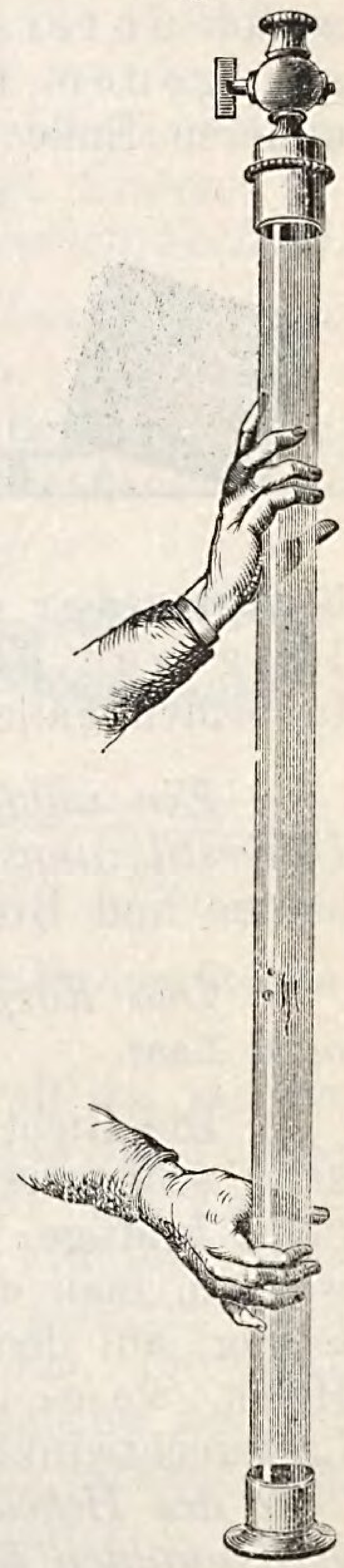
Jeder in der Luft fallende Körper mufs offenbar die Luft vor sich her verdrängen. Dies kann die Münze leichter als das Papier, da sie im Verhältnis zu ihrer Oberfläche ein bedeutend gröfseres Gewicht hat. Liegt nun das Papier auf der Münze, so wird es durch die Luft am Fallen nicht verhindert, denn die Münze verdrängt die Luft vor dem Papier her. Der Widerstand der Luft ist demnach die Ursache, dafs das Papier für sich allein nicht ebenso schnell fiel als die Münze. Die Richtigkeit dieser Folgerung wird dadurch bestätigt, dafs z. B. in einer mit der Luftpumpe möglichst luftleer gemachten Glasröhre

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 73.

(Fallröhre, Fig. 12) das kleinste Papierschnitzelchen kaum merklich langsamer fällt als z. B. eine Bleikugel. Dies führt zu dem Satze:

Im luftleeren Raume fallen alle Körper (an demselben Orte) gleichschnell (vergl. §§ 56 und 88).

Fig. 12.



Ähnliche Erscheinungen wie diejenigen, welche die Körper beim Fallen in der Luft zu erkennen geben, zeigen sich auch beim Fallen der Körper im Wasser.

Versuch b. Läſst man etwa ein Stück Blei und ein ungefähr ebenso groſses Stück Kreide von gleicher Form in einem hohen, mit Wasser gefüllten Glasgefäſse zugleich nebeneinander fallen, so bleibt die Kreide hinter dem Blei zurück. — Was würde hiernach in ebenso tiefem flieſsenden Wasser erfolgen?

Hierauf beruht die Fortbewegung von Gesteinsmassen durch die Flüsse, wobei die leichten, sandigen Teile am weitesten gelangen; die sogen. Goldwäsche und das Schlämmen der in Pochwerken zerkleinerten Erze, das den Zweck hat, die metallhaltigen Teile von den übrigen Mineralteilen zu trennen; ferner das Schlämmen des Ackerbodens, wodurch sich der Gehalt des Bodens an Kies, Sand, Thon u. dgl. ermitteln läſst.

Übungsstoff. 1. Welcher Einwand könnte gegen die Erklärung des obigen Versuches erhoben werden, wenn das Papier vorher angefeuchtet würde? — 2. Was würde eintreten, wenn das Papier an einer Seite über den Rand der Münze hervorragte, u. w.? — 3. Angenommen, man legte das Papier unter die Münze und lieſse dann beide K. fallen; würde dann der Versuch das Angeführte beweisen? Grund! — 4. Warum fliegen Spitzkugeln bei gleicher Pulverwirkung weiter als runde Geschosse? — 5. Werden ein Stück Blei und ein ebenso groſses Stück Holz und Kork in der Luft gleichschnell fallen? Grund! — 6. Durchströmt ein Fluſs, welcher reich an Gesteinsteilchen ist, einen groſsen und tiefen See, so flieſst er aus demselben fast vollständig geklärt ab; w.?

II. Abschnitt.

Gleichgewicht und Bewegung der Körper.

(Mechanik.)

A. Von den festen Körpern.

Einfache Maschinen.*)

§ 7. Der Hebel. Wenn Körper von bedeutendem Gewichte, z. B. schwere Steine, Baumstämme u. dgl., ein wenig gehoben oder fort-

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 68.

gewälzt werden sollen, so pflegt man sich die Arbeit dadurch zu erleichtern, dafs man Hebebäume oder Brechstangen von Holz oder Eisen zu Hülfe nimmt. Man verfährt dabei in zweifacher Weise: Entweder unterstützt man einen nahe am Ende des Stabes gelegenen Punkt (O, Fig. 13) und drückt den Stab an seinem anderen Ende nieder, sodafs er sich um den Punkt wie eine Wippe

Fig. 13.

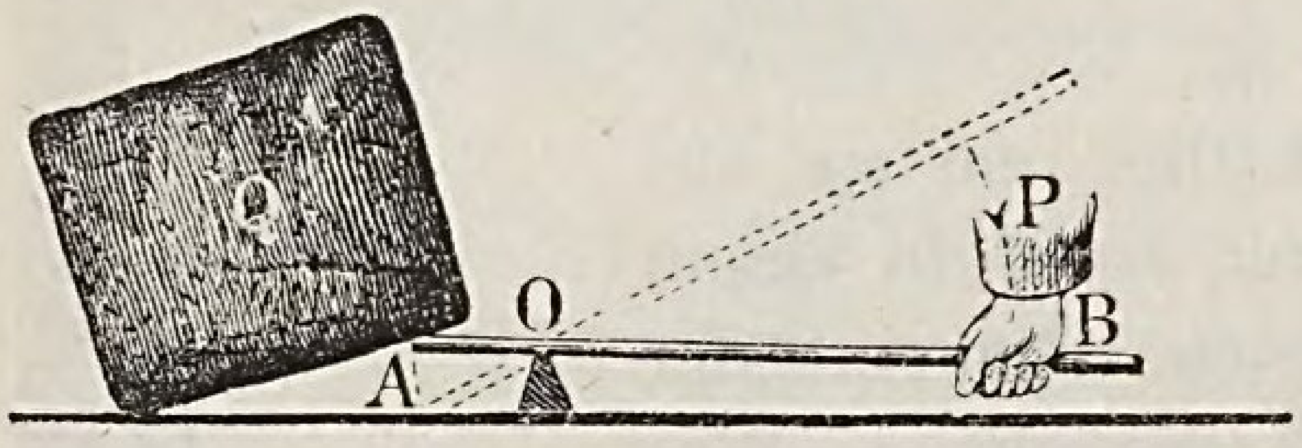
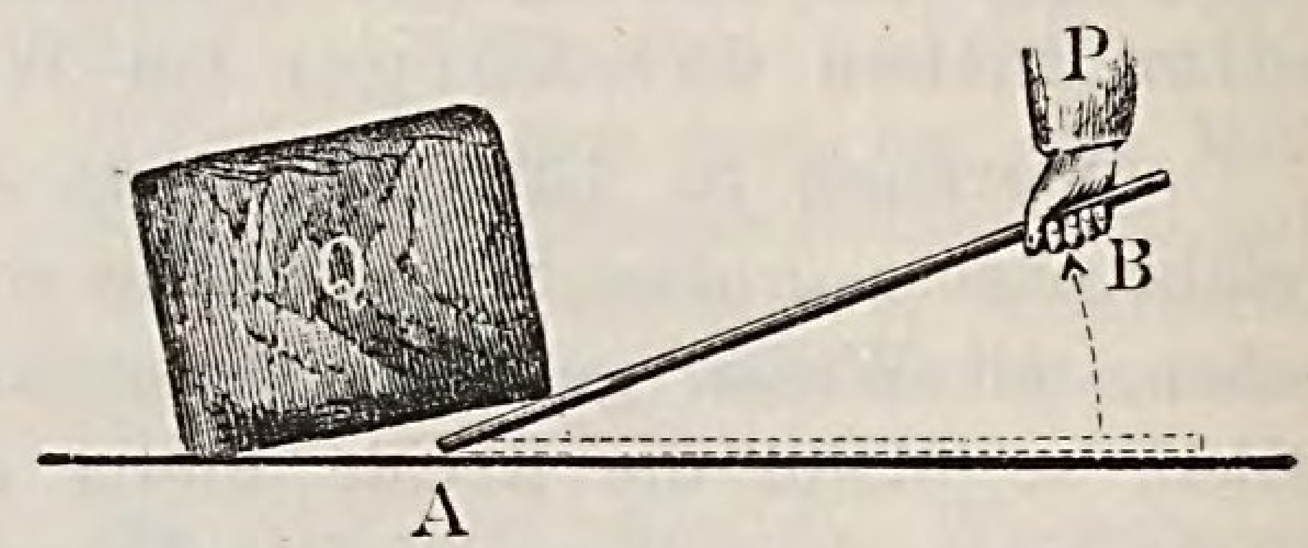


Fig. 14.



bewegt, oder man stemmt das eine Ende desselben (A, Fig. 14) gegen den Boden und hebt das andere Ende (B) in die Höhe. In beiden Fällen wird der Körper (Q) gehoben.

Ein unbiegsamer Stab, welcher so unterstützt ist, dafs er um den Unterstützungspunkt gedreht werden kann, wird **Hebel** *genannt.* Hebebäume und Brechstangen sind demnach Hebel.

Den Körper, der mittelst eines Hebels gehoben werden soll, nennt man **Last.**

Die Richtung, in welcher Kraft und Last auf den Hebel einwirken, kann sehr verschieden sein. Die Erfahrung lehrt, dafs man eine möglichst kräftige Wirkung erzielt, wenn man den Druck oder Zug, durch welchen man den Widerstand überwinden will, rechtwinklig (nicht schräg) auf den Hebel ausübt. Aus demselben Grunde giebt man dem Hebel, wo es irgend geschehen kann, eine solche Lage, dafs auch die Last rechtwinklig auf ihn einwirkt. Für diesen Fall werden *die beiden Teile des Hebels, welche zwischen dem Drehpunkte und den beiden Angriffspunkten liegen, als* **Hebelarme** (Kraft- und Lastarm) *bezeichnet.*

Im folgenden ist nur dieser einfachste Fall berücksichtigt worden.

Liegt der Drehpunkt eines Hebels am Ende desselben (Fig. 14), *so heifst der Hebel* **einarmig;** *liegt er zwischen den beiden Angriffspunkten,* **zweiarmig,** *und zwar gleicharmig* (Fig. 10), *wenn die Hebelarme gleichlang, ungleicharmig* (Fig. 13), *wenn sie ungleichlang sind.* (Auch beim einarmigen Hebel unterscheidet man Kraft- und Lastarm.)

Mechanischer Vorteil und Nachteil.

Der Gebrauch der Krämerwage (Fig. 10) lehrt, dafs zum Heben einer Last bei Anwendung eines gleicharmigen Hebels ebensoviel Kraft nötig ist, als die Last beträgt, sowie dafs bei einer Drehung des Hebels die Last um ebensoviel gehoben wird, als die Kraft den Hebel in ihrem Angriffspunkte niederdrückt. Beim gleicharmigen Hebel findet daher nur eine vorteilhafte Änderung der Kraftrichtung statt. Man kann deswegen den gleicharmigen Hebel auch als **Richtungshebel** bezeichnen.

Anders verhält es sich beim ungleicharmigen Hebel. In Fig. 13 und 14 greift die Hand den Stab in einem Punkte an, der vom Unterstützungspunkte bedeutend weiter entfernt ist als derjenige Punkt, in welchem der Stein einen Druck auf den Stab ausübt. Die Erfahrung lehrt, dafs sich auf diese Weise grofse Widerstände mit geringer Kraft überwinden lassen; die Kraft mufs dabei freilich einen weit gröfseren Weg zurücklegen, als die Last zurücklegt. Ersteres bezeichnet man als *mechanischen Vorteil*, letzteres als *mechanischen Nachteil.*

Ein Hebel, dessen Kraftarm länger ist als sein Lastarm, kann seiner Wirkung wegen als **Druckhebel** *bezeichnet werden.*

Als Druckhebel wirken aufser dem Hebebaume und dem Brecheisen auch noch Pumpenschwengel, Ruder, Schubkarren, die Messer der Brodschneideladen und Zuckerbrecher, Schlüssel u. s. w. Manche Werkzeuge, wie z.B. Nufsknacker (Fig. 15), Kneifzangen (Fig. 16) und Scheren, bestehen aus zwei beweglich miteinander verbundenen Druckhebeln, welche gegeneinander wirken. Was ist durch die unter den beiden Figuren stehenden einfachen Zeichnungen dargestellt?

Fig. 15.

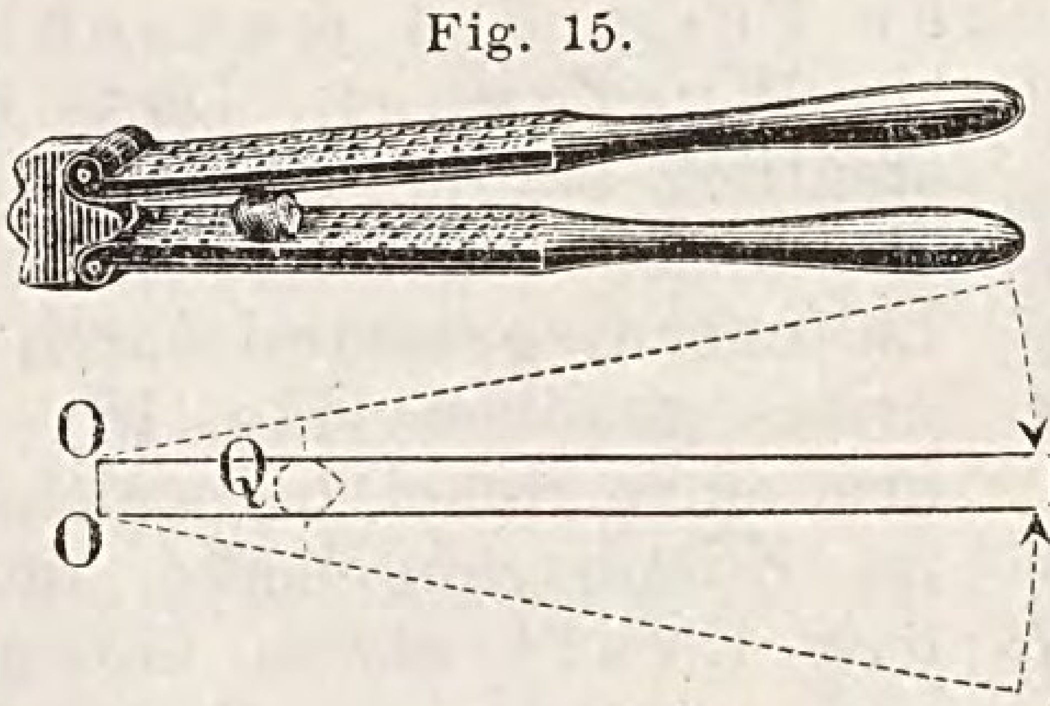
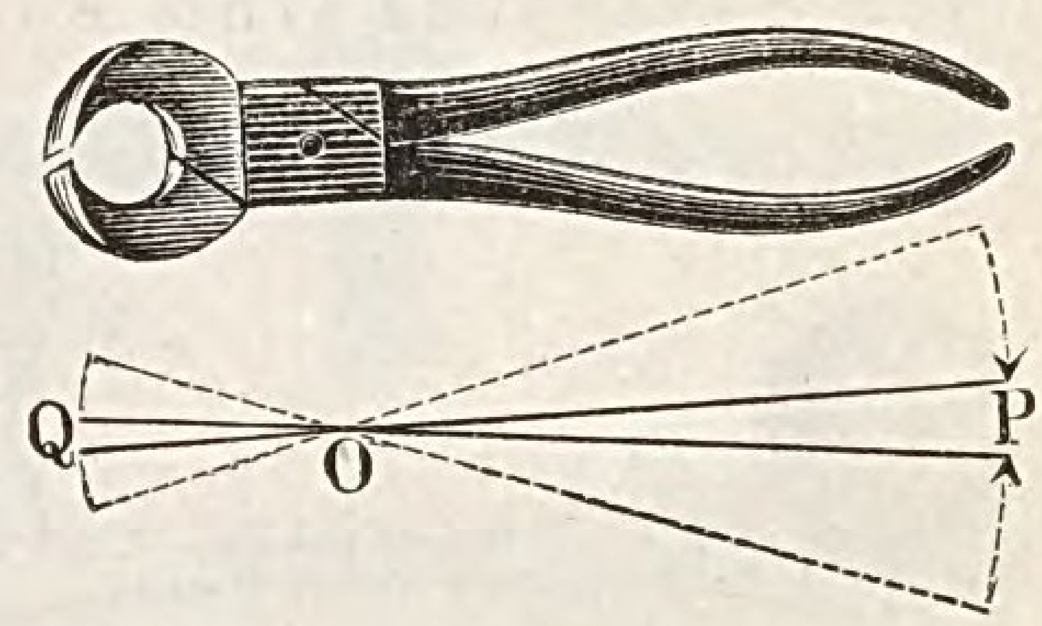
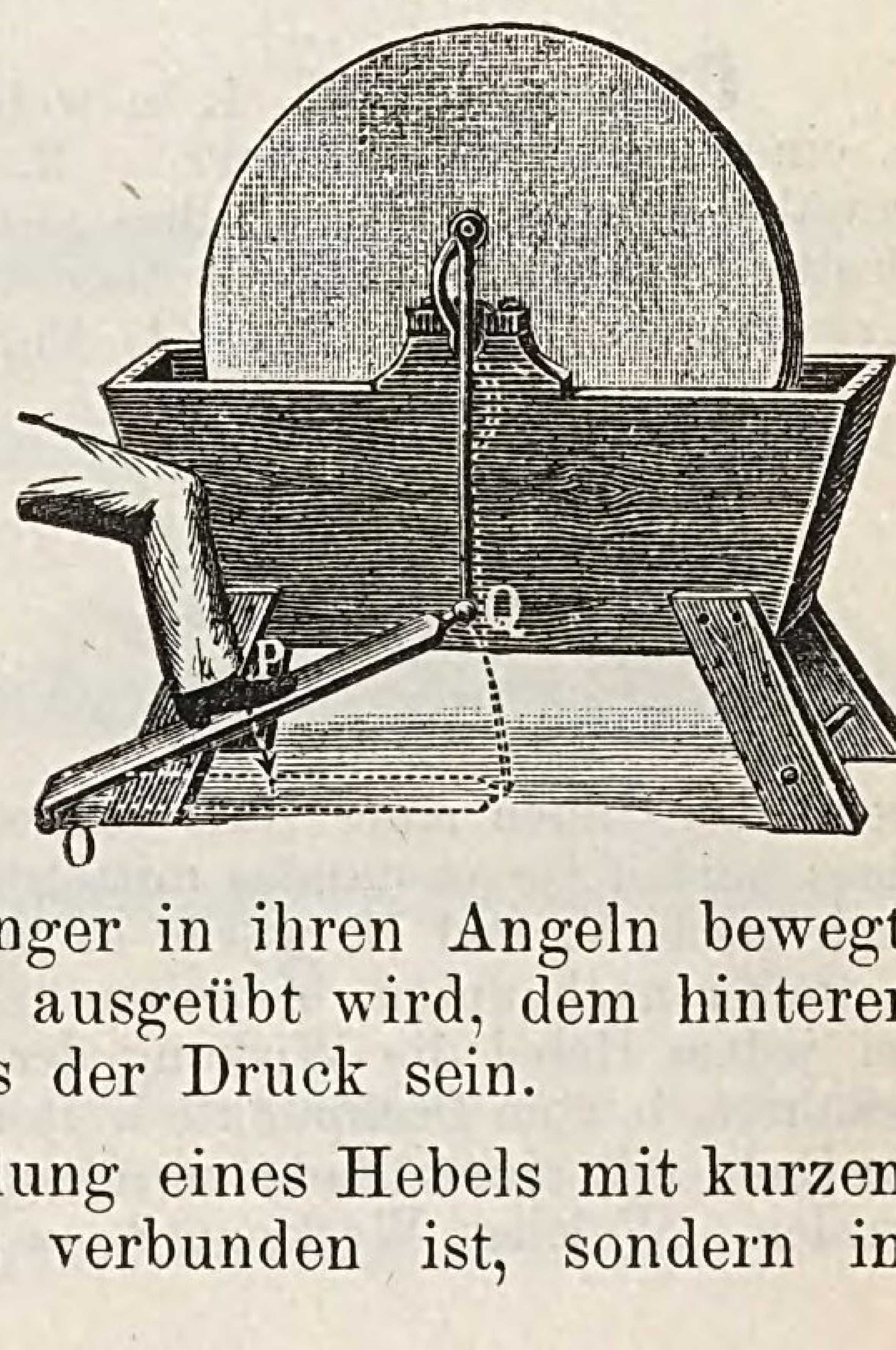


Fig. 16.



Stellen wir uns vor, in Fig. 13 und 14 wirke die Kraft da, wo der Stein einen Druck auf den Hebel ausübt, die Last hingegen im Punkte B, so kehren sich die Verhältnisse um. Würde z. B. auf den zweiarmigen Hebel (Fig. 13) in A etwa mit dem Fufse ein kräftiger Stofs ausgeübt, so könnte ein auf das andere Ende des Hebels gelegter Stein von geringem Gewichte dadurch weit fortgeschleudert werden. Der einarmige Hebel (Fig. 14) würde, wenn er etwa die Einrichtung des mit einem Schleifsteine (Fig. 17), einem Spinnrade oder dergl. verbundenen Trittbrettes hätte und man nahe am unteren Ende desselben durch den Fufs einen Druck darauf ausübte, sich mit seinem oberen Ende viel schneller abwärts bewegen als der Fufs selbst. Eine geringe Auf- und Abbewegung des Fufses reicht in solchem Falle aus, den Stein oder das Rad mittelst Zugstange und Kurbel in eine schnelle Umdrehung zu versetzen.

Fig. 17.



Welchen Einflufs eine solche Verkürzung des Kraftarms auf die Gröfse der erforderlichen Kraft ausübt, davon überzeugt man sich leicht, wenn man z. B. eine Thür durch einen Druck mit dem Finger in ihren Angeln bewegt. Je näher der Punkt, in welchem der Druck ausgeübt wird, dem hinteren Rande der Thür liegt, desto kräftiger mufs der Druck sein.

Hieraus geht hervor, dafs die Anwendung eines Hebels mit kurzem Kraftarme nicht mit einer Kraftersparnis verbunden ist, sondern im

Gegenteil mehr Kraft erfordert, als Last zu überwinden ist. Dies ist ein *mechanischer Nachteil.* Der *mechanische Vorteil* besteht bei einem solchen Hebel in der Vergröfserung der Geschwindigkeit.

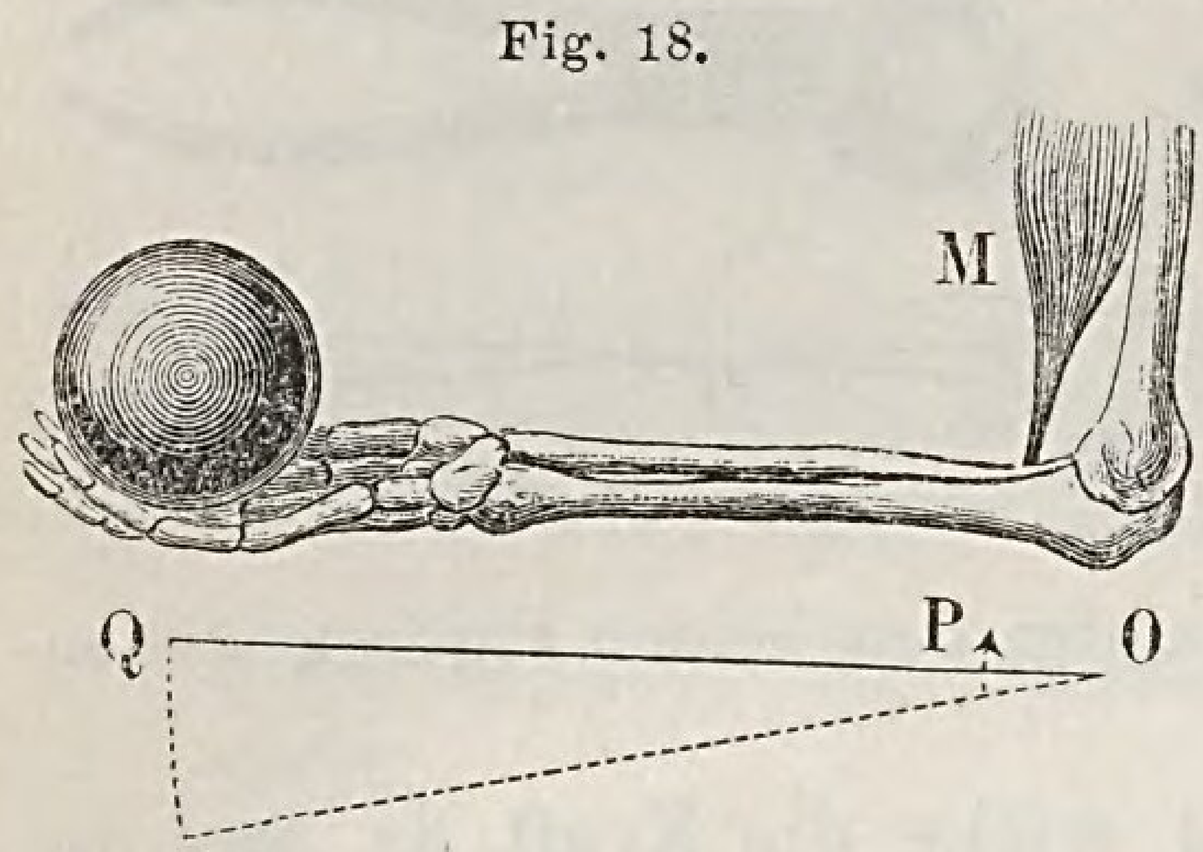
Hebel, bei denen der Kraftarm kürzer ist als der Lastarm, können ihrer Wirkung wegen als **Wurfhebel** *bezeichnet werden.*

Bem. Nur beim einarmigen Hebel pflegt man Druck- und Wurfhebel zu unterscheiden.

Wie die Trittbretter, so bilden auch Wurfschaufeln, Sensen, Schäferstäbe u. s. w. Wurfhebel; auch Federhalter, Bleistifte und Pinsel stellen beim Gebrauche Wurfhebel dar. Zweiarmige Wurfhebel sind z. B. die Hämmer an den Schlagwerken der Stuben- und Turmuhren.

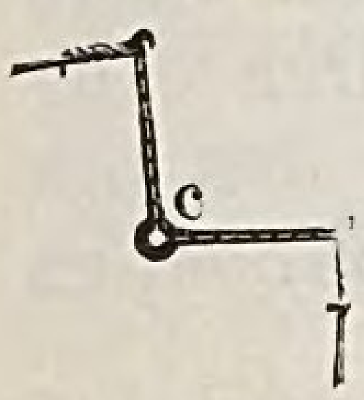
Die meisten beweglichen Teile des menschlichen und tierischen Skelettes sind ebenfalls Wurfhebel. Diese Einrichtung tritt sehr deutlich bei den Gliedmafsen hervor. Wird z. B. bei herabhängendem Arme ein in der Hand gehaltener Gegenstand durch Bewegung des Unterarmes gehoben (Fig. 18), so bildet der Unterarm einen Hebel, bei welchem der Drehpunkt im Ellenbogengelenke, der Angriffspunkt der Kraft etwas unterhalb dieses Gelenkes und zwar da, wo der auf dem Oberarme liegende kräftige Muskel (M) am Unterarme befestigt ist, und der Angriffspunkt der Last in der Hand liegt. Zum Heben des Gegenstandes ist eine geringe Verkürzung des Muskels ausreichend. — Wodurch ist dies in der Figur angedeutet?

Fig. 18.



Eine besonders wichtige Anwendung findet der gleicharmige wie der ungleicharmige Hebel bei den **Wagen** zur Bestimmung des Gewichtes der Körper (vergl. § 69).

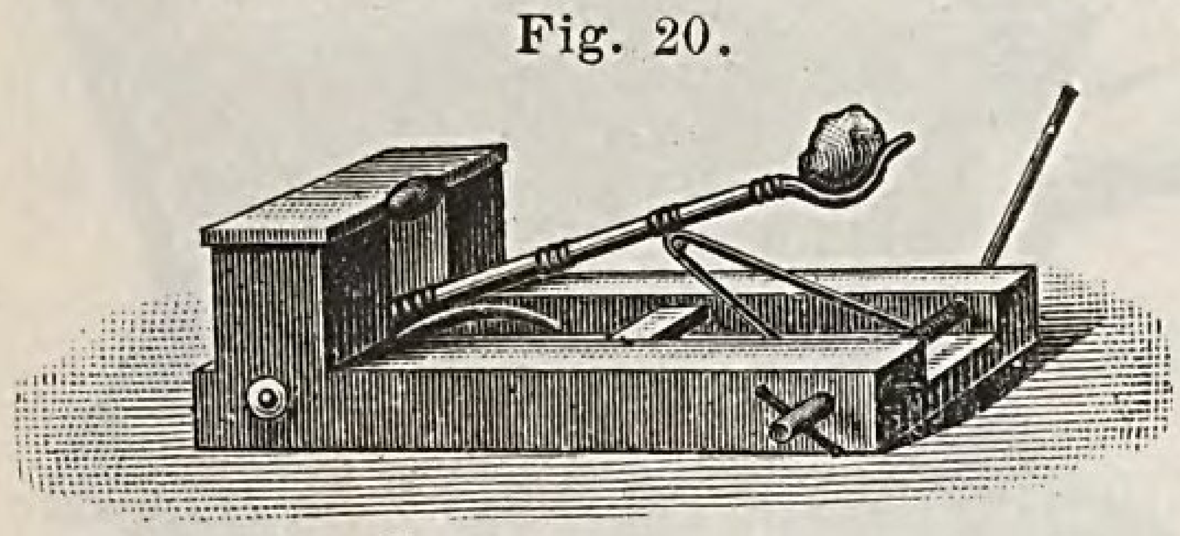
Fig. 19.



Je nachdem die Hebelarme gerade oder krumm sind, oder einen Winkel miteinander bilden, kann man gerade, krumme und Winkelhebel unterscheiden (Winkeleisen der Glockenzüge [Fig. 19], Thürklinken u. s. w.).

Übungsstoff. **1.** In welchem Falle bildet eine Brechstange a. einen zwei- b. einen einarmigen Hebel? — **2.** Mit einem Hebebaume soll ein Baumstamm fortgewälzt werden. Wie ist dies mit Vorteil auszuführen? — **3.** Wie mufs man ein Brett unterstützen, um mit demselben einen Stein durch einen kräftigen Schlag weit fortwerfen zu können? — **4.** Fig. 20 stellt die Einrichtung einer von den alten Römern als Kriegsgerät angewandten Wurfmaschine dar. Erkl.! — **5.** Wie würde sich bei den beiden Hebeln, Fig. 13 und 14, der mech. V. ändern, wenn der Stein a. in einem dem Drehpunkte des Hebels näher gelegenen, b. in einem vom Drehpunkte weiter entfernten Punkte auf den Hebel einwirkte? — **6.** Wie hat man zu verfahren, wenn das Öffnen einer Nufs mittelst Nufsknackers (Fig. 15) oder das Zerschneiden eines harten Gegenstandes mittelst Schere möglichst leicht gehen soll? — **7.** Welchen mech. V. und N. würde es haben, wenn bei dem Trittbrette (Fig. 17) der Fufs a. weiter nach unten, b. weiter nach oben aufgesetzt würde? — **8.** Wie ändert sich bei jedem Hebel die Wirkung der Kr., wenn der Angriffsp. der Kr. a. dem Drehp. genähert, b. vom Drehpunkte weiter entfernt wird? — **9.** Wird ein einarmiger Hebel am Ende mit einem Rade versehen, so kann er zur Fortschaffung von Lasten benutzt werden. Welches Werkzeug? — **10.** Warum ist es hierbei nicht gleichgültig, an

Fig. 20.

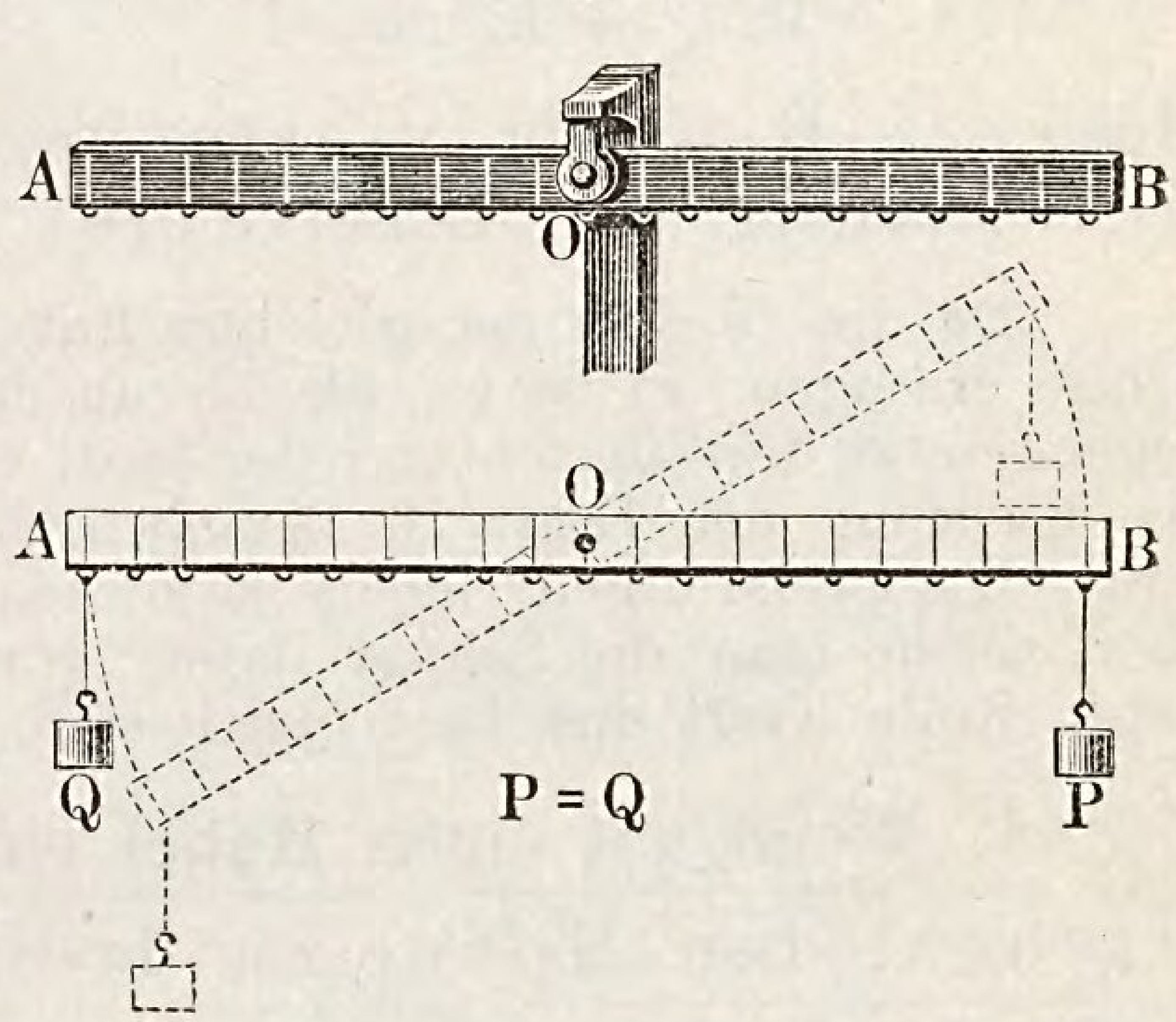


welcher Stelle die Last liegt? — **11.** Welche Teile der Pumpen, Feuerspritzen, Spinnräder, Nähmaschinen, Drehbänke, Schneideladen, Zuckerbrecher und Schlagwerke der Uhren bilden Hebel, und inwiefern? — **12.** Welche von denselben sind ein- und welche zweiarmig, und worin besteht der mech. V. und der mech. N.? — **13.** Was für Hebel (Druckhebel oder Wurfhebel) bilden Schlüssel, Spaten, Messer, Sensen, Schaufeln und Heugabeln beim Gebrauche? — **14.** Welchen Vorteil hat es für den menschlichen und tierischen K., dafs die Gliedmafsen Hebel mit sehr kurzen Kraftarmen bilden? — **15.** Nenne Musikinstrumente, bei denen Hebel zur Anwendung kommen.

§ 8. Hebelgesetze. (Fortsetzung.)

Ein genaues Verhältnis zwischen Kraft und Last ergiebt sich für alle Hebel aus folgenden Versuchen:

Fig. 21.

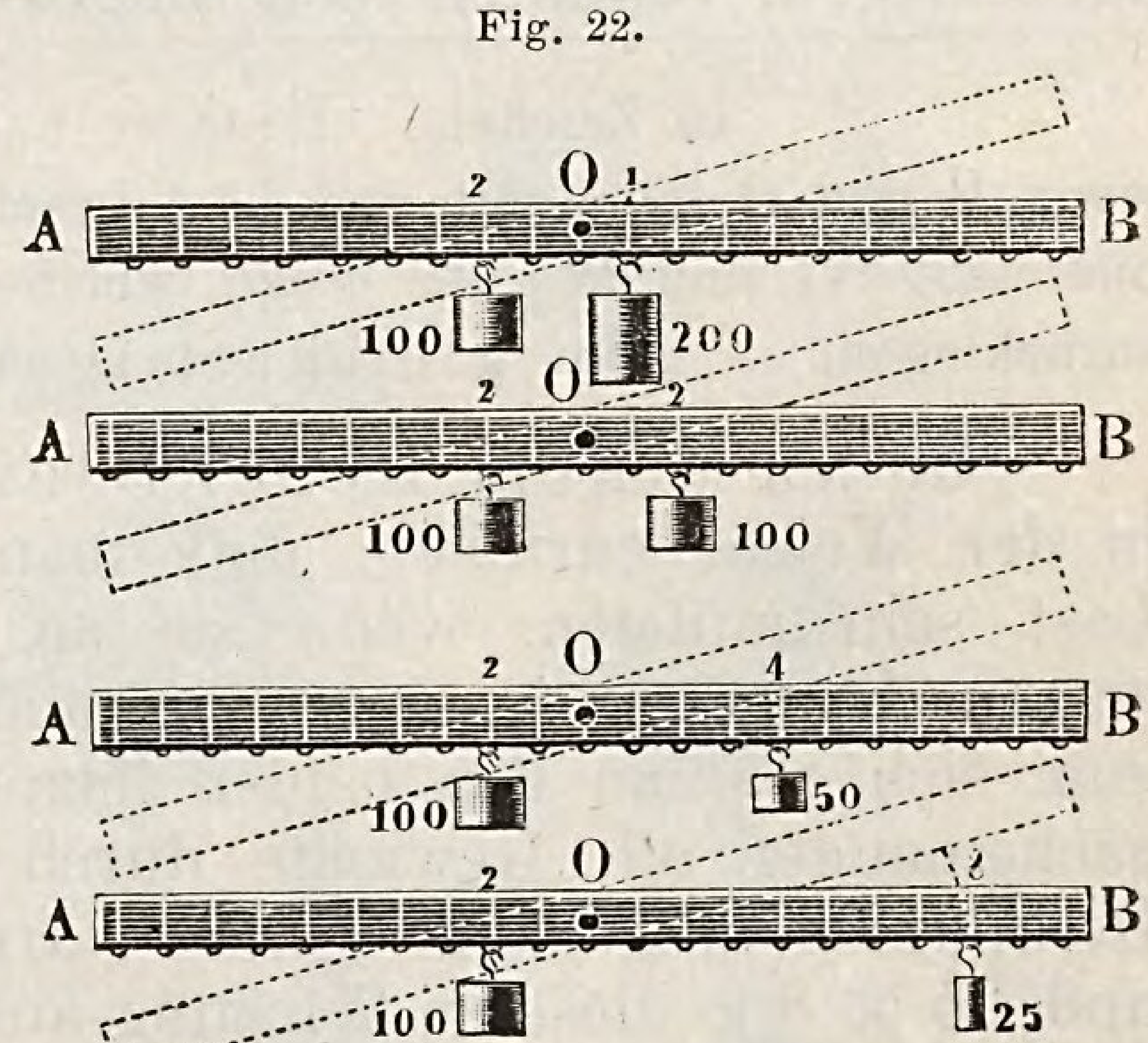


Versuch a. Ein gerader, unbiegsamer Stab von gleichmäfsiger Stärke (AB, Fig. 21) werde als *zweiarmiger Hebel* so unterstützt, dafs er unbelastet in wagerechter Lage zur Ruhe kommt. Hängt man dann rechts und links vom Drehpunkte des Stabes in gleichen Abständen gleiche Gewichte auf, so wird das Gleichgewicht nicht gestört.

Dreht man den Hebel um seine Achse, so bewegt sich das eine Gewichtstück in senkrechter Richtung ebenso stark aufwärts, als das andere abwärts, man sagt: Die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen, senkrechten Richtung zurücklegen, sind einander gleich. Die beiden Angriffspunkte beschreiben dabei gleiche Kreisbogen.

Versuch b. Belastet man den zweiarmigen Hebel mit 2 ungleichen Gewichten (Fig. 22), so entsteht jedesmal Gleichgewicht, wenn von dem an der einen Seite aufgehängten Gewichte an der andern Seite 1) in der halben Entfernung das Doppelte, 2) in der doppelten Entfernung die Hälfte, 3) in der vierfachen Entfernung ein Viertel u. s. w. aufgehängt wird.

Fig. 22.

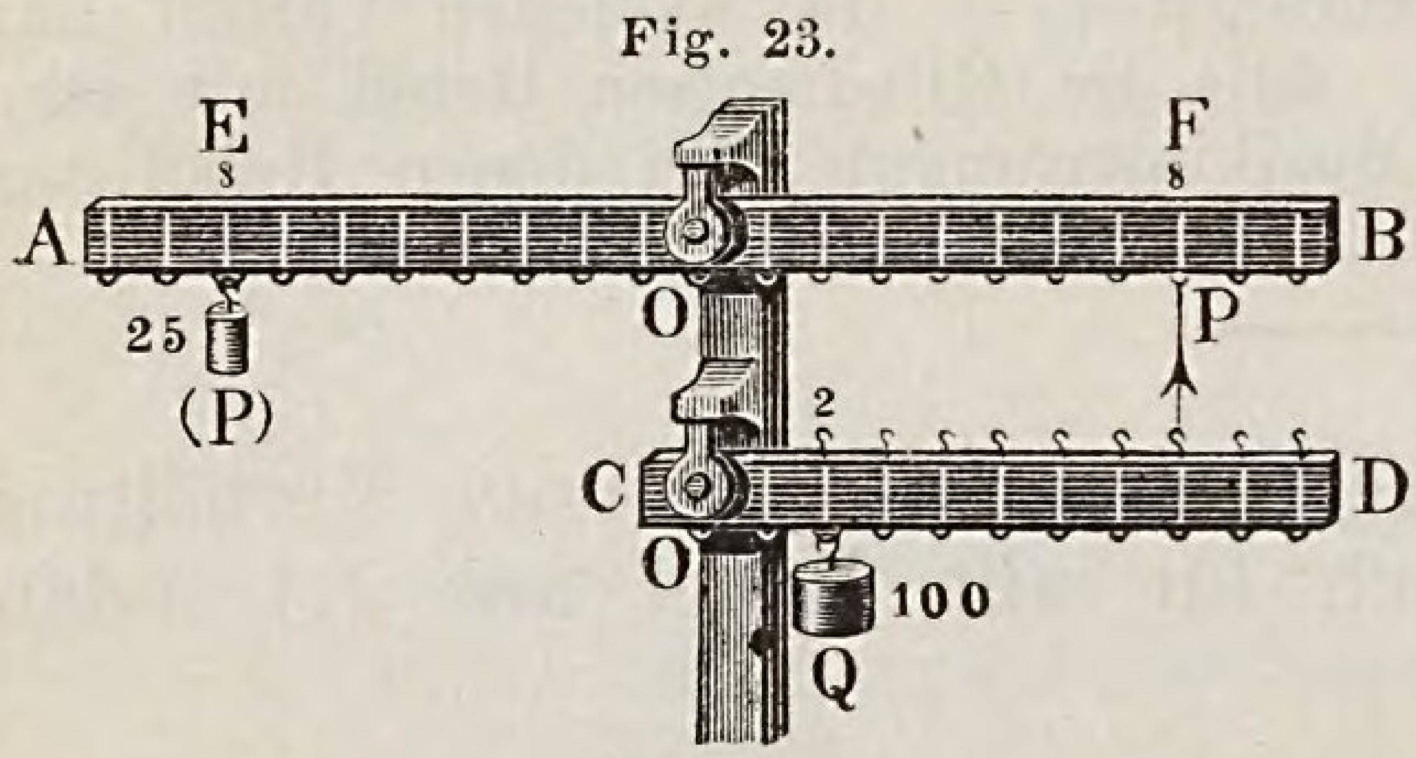


Welche Gewichte müfsten hiernach zur Herstellung des Gleichgewichtes links 1 cm vom Drehpunkte aufgehängt werden, wenn rechts 1, 2, 4 und 8 cm vom Drehpunkte nacheinander eine Kraft von 100 g wirkte? Wie ändert sich demnach das Bestreben dieser Kraft, den Hebel zu drehen, wenn der Hebelarm verlängert wird? Wie verhalten sich a. die bei einer Drehung des Hebels von den beiden Angriffspunkten beschriebenen Kreisbogen, b. die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen Richtung zurücklegen?

Bildeten bei Versuch a und b die beiden Hebelarme einen Winkel miteinander, so würde dies an dem Ergebnis nichts ändern, vorausgesetzt, dafs Kraft und Last wie vorhin rechtwinklig auf ihre Hebelarme einwirken.

Versuch c. Ein *einarmiger Hebel* (CD, Fig. 23), werde zunächst unbelastet etwa dadurch im Gleichgewicht gehalten, dafs man ihn durch eine Schnur mit einem zweiarmigen Hebel verbindet und an letzterem ein Gegengewicht (in der Figur nicht angegeben) aufhängt. Belastet man dann den Stab wie vorhin etwa 2 cm von der Achse mit 100 g, so entsteht Gleichgewicht, wenn man an der entgegengesetzten Seite des zweiarmigen Hebels, z. B. in der vierfachen Entfernung $\frac{1}{4}$, in der doppelten Entfernung die Hälfte der Last u. s. w. wirken läfst.

Fig. 23.



$P : Q = h_q : h_p$

Da die 25 g in der gleichen Entfernung rechts (in F) einen Zug von gleicher Gröfse erzeugen, so ist es, als ob an dem einarmigen Hebel nach oben, also entgegengesetzt der Zugrichtung der Last, eine Kraft von 25 g wirkte. Abgesehen von der Richtung der Kraft ist demnach das Ergebnis dasselbe, wie bei Versuch b. Statt des zweiarmigen Hebels kann man auch eine feste Rolle zu Hülfe nehmen, über welche man die Schnur leitet; vorher hat man noch zu zeigen, dafs an der festen Rolle Kraft und Last gleich sind.

1. Wenn auf einen **Hebel** eine Kraft einwirkt, so nimmt ihr Bestreben, den Hebel zu drehen, in demselben Verhältnis zu, in welchem ihr Hebelarm länger wird.

2. Am **Hebel** herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie der Lastarm zum Kraftarm. — Die Wege, welche Kraft und Last bei einer Drehung des Hebels in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, verhalten sich umgekehrt wie Kraft und Last zu einander.

In Zeichen: $P : Q = h_q : h_p$ und $W_p : W_q = Q : P$,

wenn P und Q die Kraft und Last bezeichnen, h_p und h_q die Hebelarme der Kraft und Last W_p und W_q die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen Richtung zurücklegen. — Beim gleicharmigen Hebel ist $P = Q$ und $W_p = W_q$.

Ob an einem Hebel Gleichgewicht entsteht, läfst sich auch in der Weise beurteilen, dafs man sich überlegt, wie grofs Kraft und Last sein müfsten, wenn sie an einem gleicharmigen Hebel wirkten, dessen Arme nur je eine Längeneinheit (etwa 1 cm) lang sind. Denkt man sich z. B. an den beiden letzteren der in Fig. 22 dargestellten Hebel nacheinander alle Gewichte durch ein Gewicht ersetzt, das 1 cm vom Drehpunkte aufgehängt sei, so würden links 100×2 g, rechts 50×4 g und 25×8 g dieselbe Wirkung ausüben. Die auf diese Weise erhaltenen Produkte kann man als **Drehungsmomente**[1]) bezeichnen und hiernach die Gleichgewichtsbedingung des Hebels auch durch den Satz ausdrücken:

[1]) momentum, das Bewegende, die Wucht.

Ein **Hebel** ist im G l e i c h g e w i c h t, wenn das Drehungsmoment der Kraft dem Drehungsmoment der Last gleich ist.

In Zeichen: $P \cdot h_p = Q \cdot h_q$, was auch aus obiger Proportion folgt.

B e i s p i e l. A u f g a b e: An einem Hebel (Fig. 24 und 25) wirke 8 cm vom Drehpunkte eine Last von 72 kg. Wie grofs mufs zur Herstellung des Gleichgewichtes die Kraft sein, wenn sie 60 cm vom Drehpunkte wirken soll?

Fig. 24.

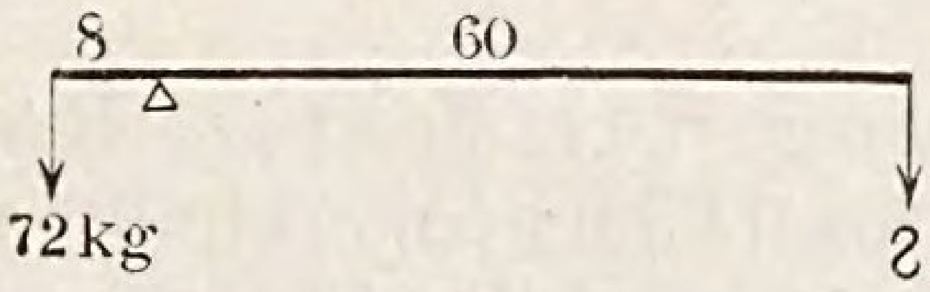
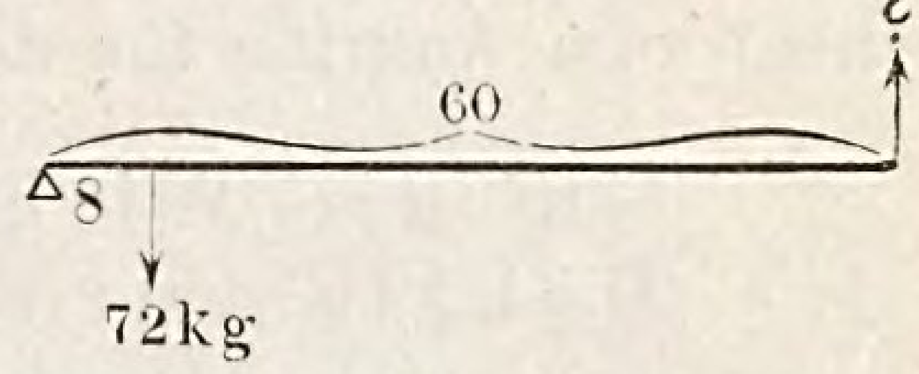


Fig. 25.



A u f l ö s u n g (nach 1) o h n e P r o p o r t i o n. 72 kg regen den Hebel an einem 8 cm langen Hebelarme ebenso stark zur Drehung an, wie 72 × 8 = 576 kg an einem Hebelarme von 1 cm Länge. Es entsteht daher Gleichgewicht, wenn man am andern Hebelarme 1 cm vom Drehpunkte ebenfalls 576 kg, oder in einem Abstande von 60 cm den 60. Teil, also $\frac{576}{60}$ = 9,6 kg wirken läfst.

A u f l ö s u n g (nach 2) d u r c h P r o p o r t i o n. P : 72 = 8 : 60; also 60 . P = 72 . 8, in welcher Gleichung 60 . P und 72 . 8 die Drehungsmomente sind.

Übungsstoff. **1.** Warum läfst sich ein Stab vor dem Knie am leichtesten durchbrechen, wenn man ihn an seinen E n d e n anfafst? — **2.** Wie ferner am leichtesten beim Auftreten mit dem Fufse; w.? — **3.** Mittelst eines 2 m langen Hebebaumes soll ein Stein von 180 kg gehoben werden, der Lastarm sei 20 cm lang. Wv. Kr. ist erforderlich, wenn der Hebebaum a. als zwei-, b. als einarmiger Hebel gebraucht wird, und die Kr. jedesmal am Ende des Hebels, wirkt? — **4.** Wv. Kr. würde in beiden Fällen nötig sein, wenn der Lastarm a. 25, b. 40, c. 50 cm lang wäre? — **5.** In welchem Verhältnis ändert sich bei diesen Längen das Bestreben der Kr., den Hebel zu drehen? — **6.** Wie verhalten sich in jedem einzelnen Falle die Wege zu einander, welche a. die beiden Angriffspunkte, b. die Kr. und L. in senkrechter Richtung beim Heben des Steines zurücklegen? — **7.** Wv. L. könnte überwunden werden, wenn in den angeführten Fällen jedesmal eine Kr. von 25 kg wirkte? — **8.** Wie müfsten sich die Hebelarme zu einander verhalten, wenn der Stein (Frage 3) a. durch 15, b. durch 20, c. durch 25 kg Kr. gehoben werden sollte? — **9.** Welchen mech. V. hat die Verlängerung oder die Verkürzung des Kraftarms, und welchen mech. N.? — **10.** Welchen mech. V. und welchen mech. N. hat a. die Verlängerung, b. die Verkürzung des Lastarms? — **11.** Wie läfst sich beim Hebel das Verhältnis, in welchem Kr. und L. für den Fall des Glgew. zu einander stehen, aus der Länge der W e g e ableiten, welche Kr. und L. bei einer Drehung des Hebels zurücklegen?

§ 9. Die Rolle.

Fig. 26.

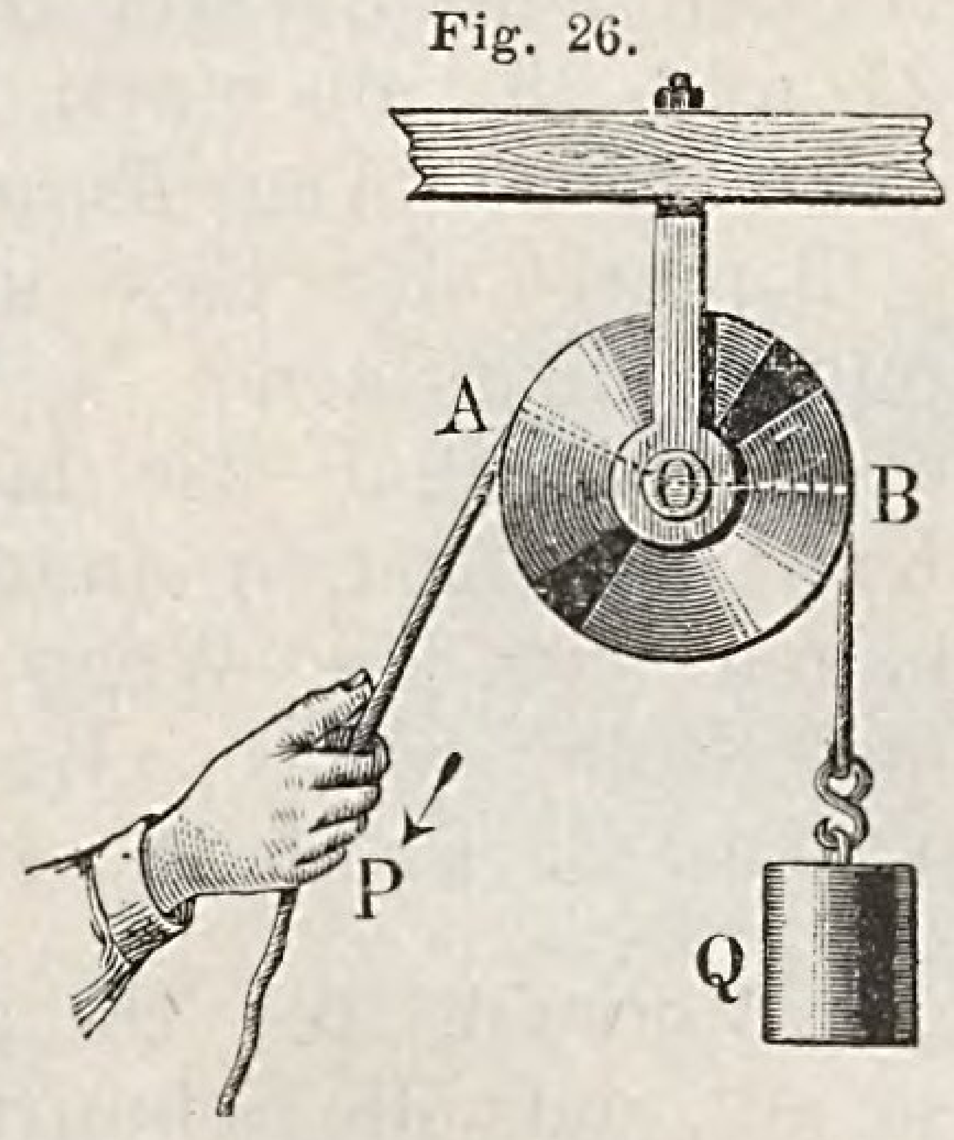
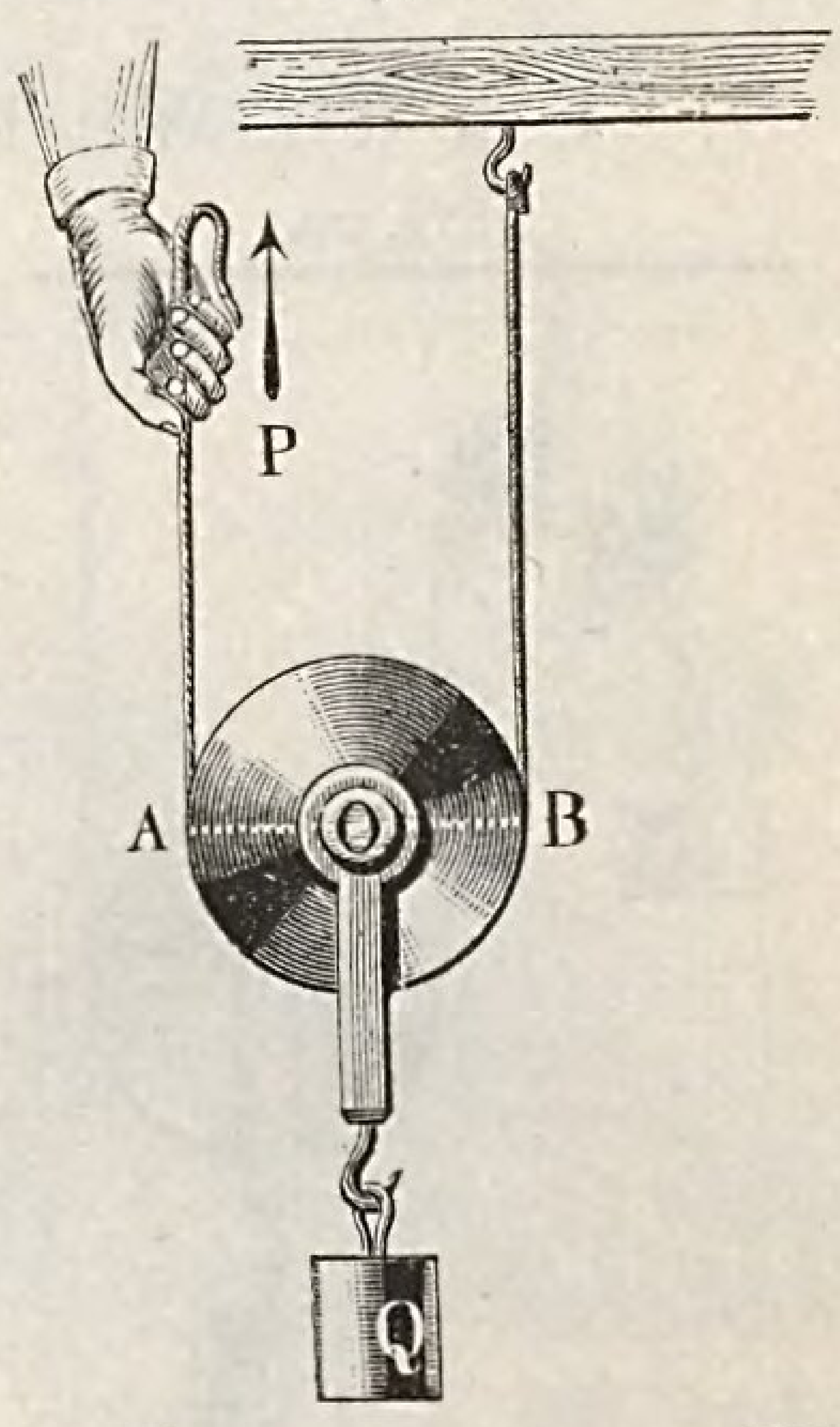


Fig. 27.



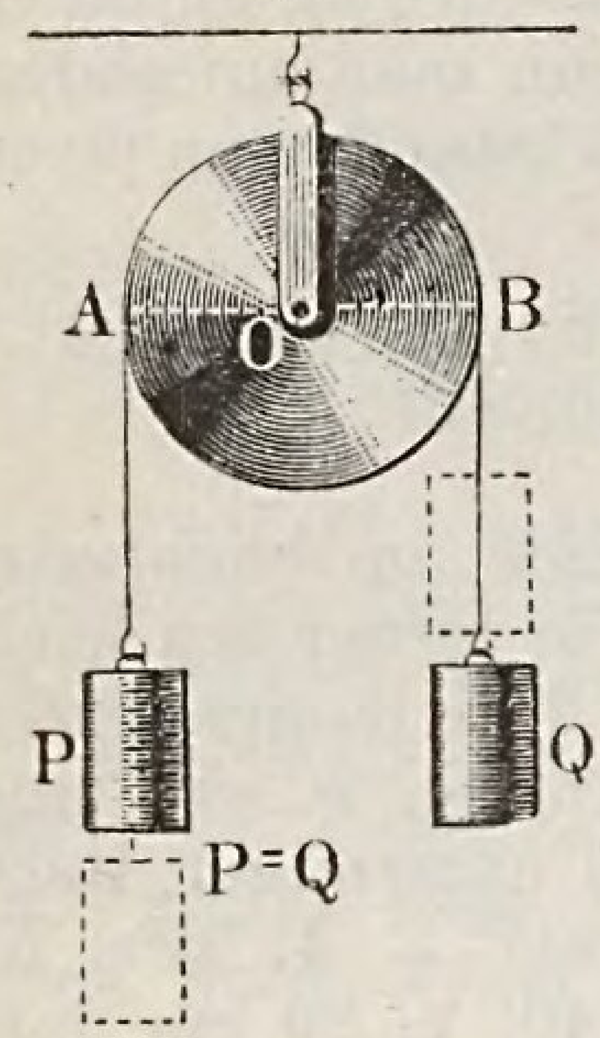
Um schwere Warenballen oder dergl. auf hoch gelegene Lagerplätze zu heben, grofse Mauersteine, Mörtel und Balken am Baugerüst hinaufzuziehen u. s. w., pflegt man *kreisförmige, um eine Achse drehbare Scheiben anzuwenden, um deren Umfang in einer Rinne ein Seil läuft* (Fig. 26 und 27). Solche Scheiben heifsen **Rollen.** Die Achsen derselben liegen in sogen. S c h e r e n oder K l o b e n.

Je nachdem die Rollen nur eine drehende, oder aufser dieser noch eine fortschreitende Bewegung ausführen, bezeichnet man sie als **feste** (Fig. 26 und 28) *oder als* **lose Rollen** (Fig. 27).

Bei den festen Rollen wirkt die Last an dem einen, die Kraft am andern Ende des Seiles; bei den losen Rollen hingegen wirkt die Last an der Schere, das eine Ende des Seiles ist mit einem festen Punkte verbunden, und das andere dient zum Angriffe für die Kraft.

Um die Wirkung der *festen* Rolle auf die Wirkung des Hebels zurückzuführen, stelle man sich vor, die beiden Punkte (A und B, Fig. 26 und 28), in denen die Seilteile von der Rolle abgehen, seien die Angriffspunkte eines um O drehbaren Hebels, der aus der Rolle herausgeschnitten wäre. — Unter welcher Bedingung würde dann Gleichgewicht entstehen, und warum? — Wie würden sich die Wege zu einander verhalten? — Wende dies auf die feste Rolle an. — Bestätigung:

Fig. 28.



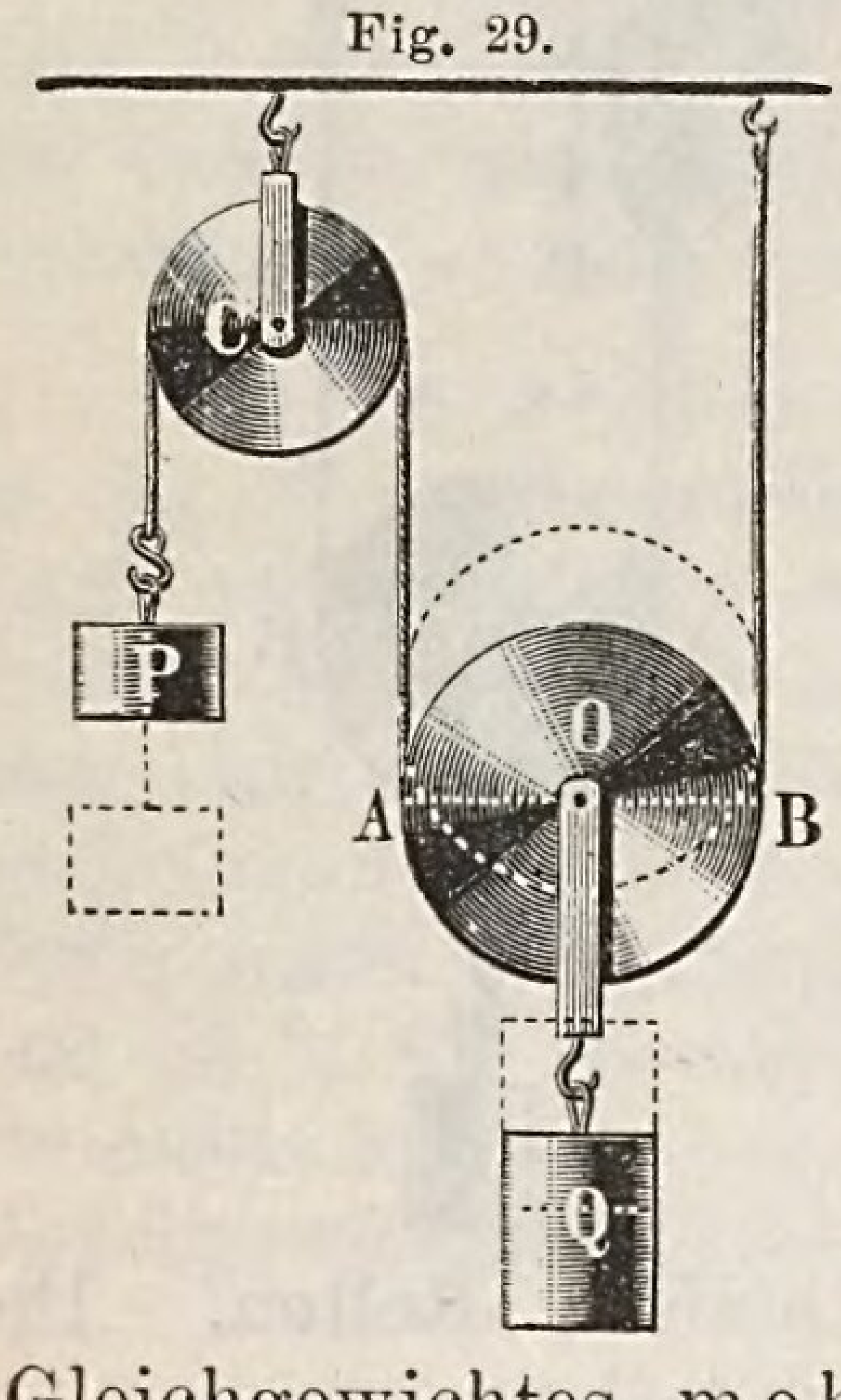
Versuch a. Hängt man an die beiden Schnurteile einer festen Rolle (Fig. 28) gleiche Gewichte, so entsteht Gleichgewicht. Bringt man darauf einen der beiden Schnurteile etwa dadurch in eine schräge Richtung, dafs man ihn über eine andere, seitlich und tiefer gelegene Rolle leitet, so wird das Gleichgewicht nicht gestört. — Vergleiche die Wege miteinander, welche die Gewichte bei einer Drehung der Rolle zurücklegen.

<u>Eine **feste Rolle** ist im Gleichgewichte, wenn Kraft und Last gleich sind. — Die Wege, welche Kraft und Last bei einer Drehung der Rolle zurücklegen, sind gleich.</u>

In Zeichen: $P = Q$ und $W_p = W_q$.

Um die Wirkung der *losen* Rolle aus der Wirkung des Hebels abzuleiten, betrachte man den wagerechten Durchmesser der losen Rolle (AB, Fig. 27 und 29) als einen Hebel. Welcher Punkt ist dann 1) als Angriffspunkt der Kraft, 2) als Angriffspunkt der Last und 3) als Unterstützungspunkt anzusehen? — Was für ein Hebel würde dies sein, und wie müfsten sich an demselben Kraft und Last zu einander verhalten? — Wie verhalten sich die Wege? — Wende dies auf die lose Rolle an. — Bestätigung durch den Versuch nach Anleitung von Fig. 29.

Fig. 29.



Versuch b. Hängt man die beiden Rollen so auf, dafs die Schnurteile der losen Rolle nicht mehr parallel sind, so ist zur Herstellung des Gleichgewichtes mehr Kraft als vorhin erforderlich.

Eine **lose Rolle** ist im Gleichgewichte, wenn die Kraft halb so grofs ist als die Last, vorausgesetzt, dafs die beiden Seilteile der losen Rolle parallel sind. — Die Wege verhalten sich umgekehrt, wie sich Kraft und Last verhalten.

In Zeichen: $P = \frac{1}{2}Q$ und $W_p : W_q = Q : P$.

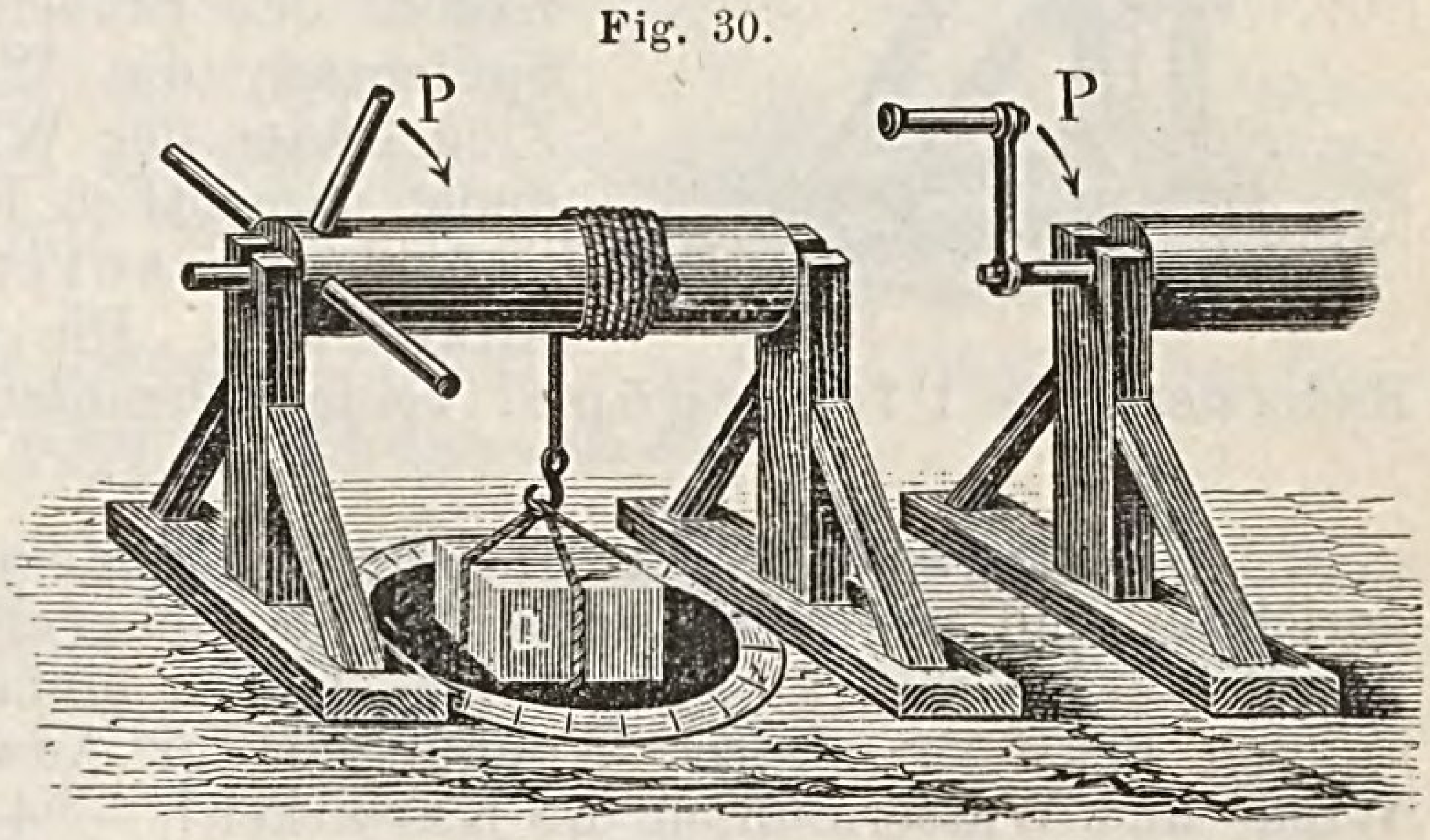
Feste Rollen sind ein bequemes Mittel, die Zugrichtung in vorteilhafter Weise umzuändern; sie werden daher auch als Richtungsrollen bezeichnet. Steine, Balken, Mörtel z. B. von oben am Baugerüst hinaufzuziehen, würde mit grofsen Schwierigkeiten verbunden sein; mittelst fester Rollen kann es von unten geschehen. Aus demselben Grunde werden feste Rollen auch beim Einrammen von Pfählen (mittelst Rammbär), zum Schliefsen von Thüren durch Zuggewichte, zur Aufhängung von Kronleuchtern, Hängelampen, Vogelbauern u. dgl. angewandt. — Um an Kraft zu sparen, mufs man *lose* Rollen anwenden. Dieselben werden gewöhnlich mit festen Rollen verbunden. Die einfachste Verbindung dieser Art ist in Fig. 29 dargestellt.*)

Übungsstoff. **1.** Worin stimmt eine feste mit einer losen Rolle überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — **2.** Welchen mech. V. gewährt die Anwendung einer losen Rolle, und worin besteht der mech. N.? — **3.** Um wv. verkürzen oder verlängern sich a. bei Fig. 28, b. bei Fig. 29 die Seilteile im Verhältnis zu einander, wenn die L. gehoben wird? — **4.** Vgl. hiermit die von der Kr. und L. zurückgelegten Wegstrecken. — **5.** Kann die Gröfse der Rolle einen Einflufs auf das Verhältnis von Kr. und L. ausüben? — **6.** Welchen Vorteil bietet es, bei Turmuhren und Regulatoren die Gewichtstücke an losen Rollen aufzuhängen, statt sie an den Enden der Schnüre zu befestigen? (Q, Fig. 29, stelle das Gewichtstück, C die Welle dar, um welche sich beim Aufziehen der Uhr die Schnur wickelt.) — **7.** Wie müssen in diesen beiden Fällen die Gew. sich zu einander verhalten, wenn der auf das Räderwerk ausgeübte Zug derselbe sein soll? — **8.** Durch den Zug, welchen ein Pferd in wagerechter Richtung ausübt, soll ein schwerer Mauerstein senkrecht gehoben werden. Wie ist dies mit Hülfe von zwei festen Rollen auszuführen? — **9.** Wie lassen sich die Gesetze über die feste und die lose Rolle aus dem Hebelgesetze ableiten? — **10.** Bei welcher Rolle ändert sich die Wirkung der Kr. mit der Richtung der Seilteile, und bei welcher nicht? — **11.** Wv. L. kann durch 20, 30, 40 kg Kr. a. an einer festen Rolle, b. an einer losen Rolle im Glgew. gehalten werden? — **12.** Wv. Kr. ist aber erforderlich, um 80, 90, 100 kg L. vermittelst Rollen im Glgew. zu halten? — **13.** Welchen Weg mufs die Kr. dabei zurücklegen, wenn die L. um 4 m gehoben werden soll? — **14.** Wie läfst sich nach den Wegen der Kr. und der L. beurteilen, unter welcher Bedingung Glgew. entsteht?

§ 10. Das Wellrad.

Um Wasser aus tiefen Brunnen zu heben, Erde oder Gestein aus Schachten zu fördern, um das Steuerruder der Schiffe vom Deck aus zu bewegen und in vielen anderen Fällen bedient man sich des **Wellrades**, d. h. *einer Vorrichtung, welche aus einer starken drehbaren Welle besteht, an deren einem Ende eine kreisrunde Scheibe, ein Rad oder mehrere Stäbe wie Speichen eines Rades* (Fig. 30 links)

Fig. 30.



*) Vgl. II. Lehrstufe, § 70.

befestigt sind. Letztere können auch durch eine *Kurbel* ersetzt sein (Fig. 30 rechts). Beim Gebrauche wird die Welle um ihre Achse gedreht. Hierbei läſst man die Kraft je nach der Einrichtung des Wellrades am Umfange der Scheibe oder des Rades, oder am äuſseren Ende der Stäbe oder an der Kurbel wirken, während die Last durch ein Seil auf die Welle einwirkt.

Um die Wirkung des Wellrades auf den Hebel zurückzuführen, denke man sich an Stelle des Wellrades (Fig. 31) einen Hebel (AB, Fig. 32), dessen Drehpunkt in der Achse der Welle liegt, und dessen Arme mit den beiden Drehungsradien CA und CB zusammenfallen. Wie läſst sich dann für den Zustand des Gleichgewichtes das Verhältnis zwischen Kraft und Last bestimmen, und wie verhalten sich bei einer Drehung der Welle die Wege zu einander?

Fig. 31.

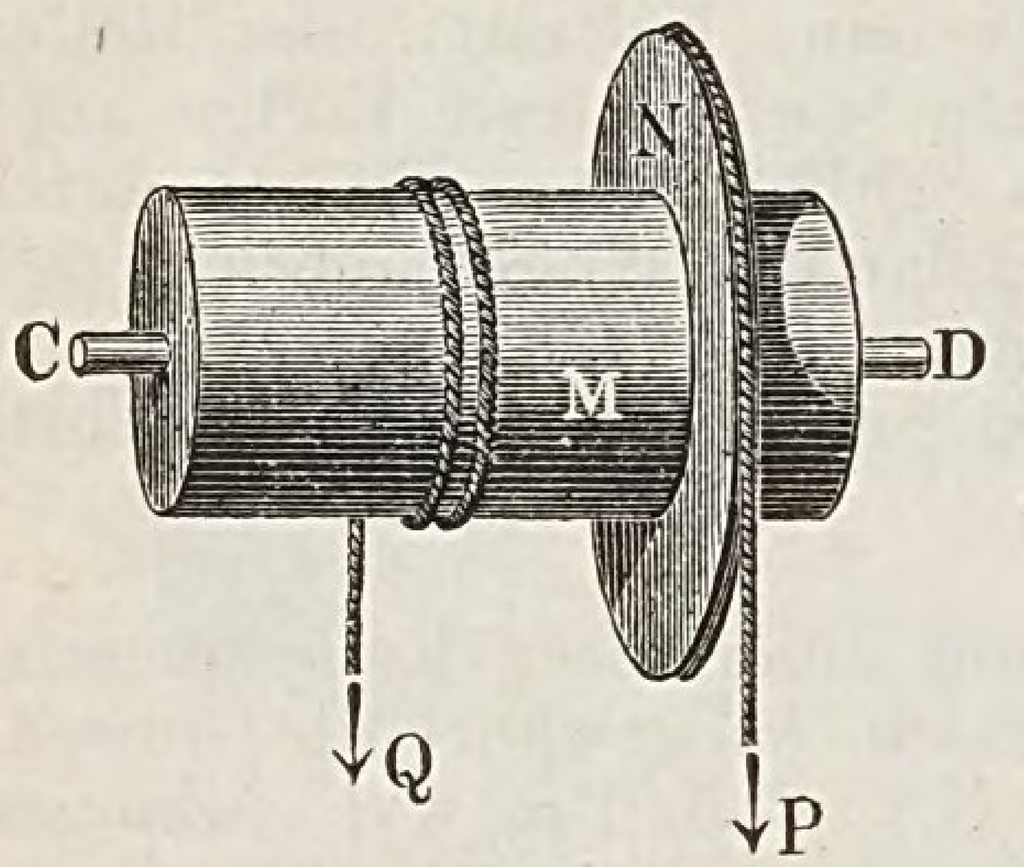
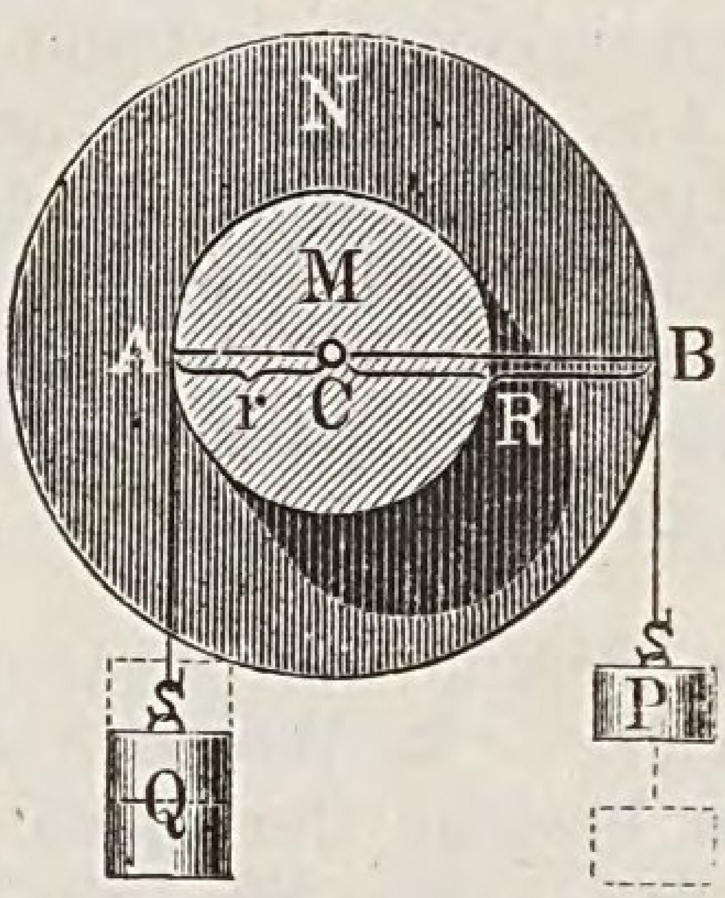


Fig. 32.



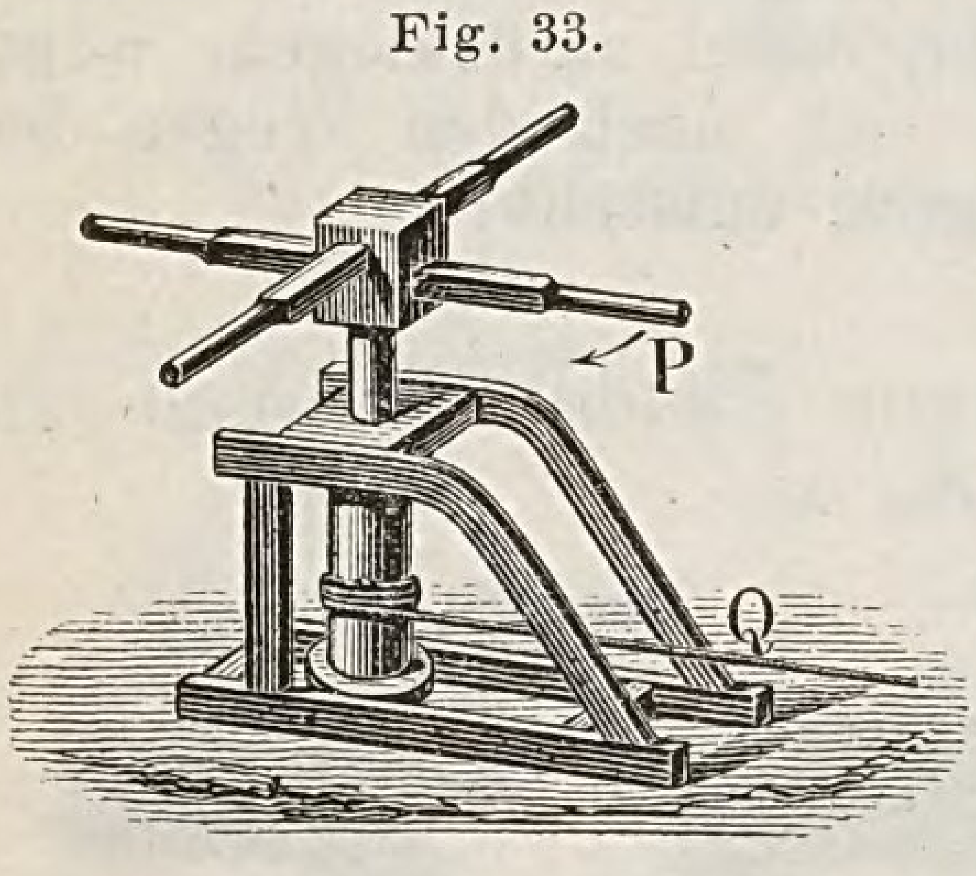
Bestätigung durch den Versuch.

Am **Wellrade** ist Gleichgewicht vorhanden, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie der Radius (r) der Welle zum Radius (R) des Rades. — Bei einer Drehung des Wellrades stehen die Wege, welche Kraft und Last zurücklegen, im umgekehrten Verhältnis von Kraft und Last zu einander.

In Zeichen: $P : Q = r : R$ und $W_p : W_q = Q : P$.

Je nach dem Zwecke, den das Wellrad hat, ist die Einrichtung desselben verschieden. Im allgemeinen unterscheidet man Haspeln und Göpel. Bei ersteren ist die Welle wagerecht, bei letzteren senkrecht (Fig. 33). Zu den Haspeln gehören auſser dem eigentlichen, aus Welle und Rad bestehenden Wellrade z. B. der Kreuzhaspel (Fig. 30 links), die Brunnenwinde (Fig. 30 rechts), das zum Bewegen des Steuerruders der Dampfschiffe dienende Spillenrad, die Wasserräder der Wassermühlen, die Flügelräder der Windmühlen u. s. w. — Das Wellrad findet namentlich bei den Räderwerken aller zusammengesetzten Maschinen eine ausgedehnte Anwendung. Die Erdwinde wird in Verbindung mit Räderwerk als Pferdegöpel vielfach benutzt.

Fig. 33.



Übungsstoff. 1. Welche Schleifsteine sind ähnlich wie Wellräder eingerichtet, und wovon hängt es ab, ob mehr oder weniger Kr. bei denselben angewandt werden muſs? — 2. Welche beiden einfachen Maschinen kommen sehr häufig an den Fenstern unserer Wohnungen zur Anwendung? — 3. Wo läſst man bei Wind- und Wassermühlen die Kr. wirken? — 4. Durch welche mech. Vorrichtungen setzt sich die durch Wind oder Wasser erzeugte Bewegung in der Mühle selbst weiter fort? — 5. Nenne ein Küchengerät und ein Musikinstrument, bei denen das Wellrad zur Anwendung kommt. — 6. Welchen Einfluſs würde es auf die Wirkung

eines Wellrades ausüben, wenn man a. die Welle dicker oder dünner, b. die Kurbel größer oder kleiner machte? — **7.** Warum läßt sich das Verhältnis der Halbmesser, an denen beim Wellrade Kr. und L. wirken, nicht ganz beliebig ändern? — **8.** Leite das Gesetz über das Glgew. des Wellrades nach Anleitung von Fig. 32 aus dem Hebelgesetze ab. — **9.** Bei einem Wellrade sei der Durchmesser der Welle 15 cm, der Durchm. des Rades 90 cm; wv. L. kann dann durch 20, 25, 30 kg Kr. im Glgew. gehalten werden? — **10.** Wv. L. würde im Glgew. gehalten werden können, wenn an der Welle eine Kurbel von 30 cm Länge befestigt wäre? — **11.** Wv. Kr. würde nötig sein, wenn an demselben Wellrade (Frage 9) 100, 150, 180 kg im Glgew. gehalten werden sollten? — **12.** Um wv. wäre die L. gehoben, wenn die Kr. einen Weg von 6 m zurückgelegt hätte? — **13.** Welchen Weg müßte die Kr. zurücklegen, wenn die L. um 2,5 m gehoben werden sollte? — **14.** Wie läßt sich aus den von der Kr. und der L. zurückgelegten Wegen das Verhältnis von Kr. und L. ableiten?

§ 11. Die schiefe Ebene. Sollen gefüllte Fässer, Warenballen, Kisten u. dgl. auf niedrige Lagerplätze gehoben oder von diesen herabgelassen werden, so bedient man sich, um Kraft zu sparen, einer Schrotleiter (Fig. 34); bei Bauten befördert man aus demselben Grunde Steine und andere Materialien auf schrägen Laufbahnen in die Höhe. Auch Bergstraßen, die in Windungen mit geringer Steigung angelegt werden, gewähren den Vorteil der Kraftersparnis bei der Fortbewegung von Lasten auf Wagen (Fig. 35), desgl. ansteigende Eisenbahnen und Rampen zur Auffahrt vor Gebäuden. -- In allen diesen Fällen wirkt die Last durch ihr Gewicht senkrecht nach unten; die Kraft kann verschiedene Richtungen haben. So kann z. B. die Zuglinie des Wagens mit der Straße gleich, aber ebensowohl etwas höher oder tiefer als diese gerichtet sein. (Von allen möglichen Richtungen sind in Fig. 35 zwei angedeutet, von denen die eine mit der Straße OM selbst, die andere mit der Horizontalen ON parallel ist.)

Fig. 34.

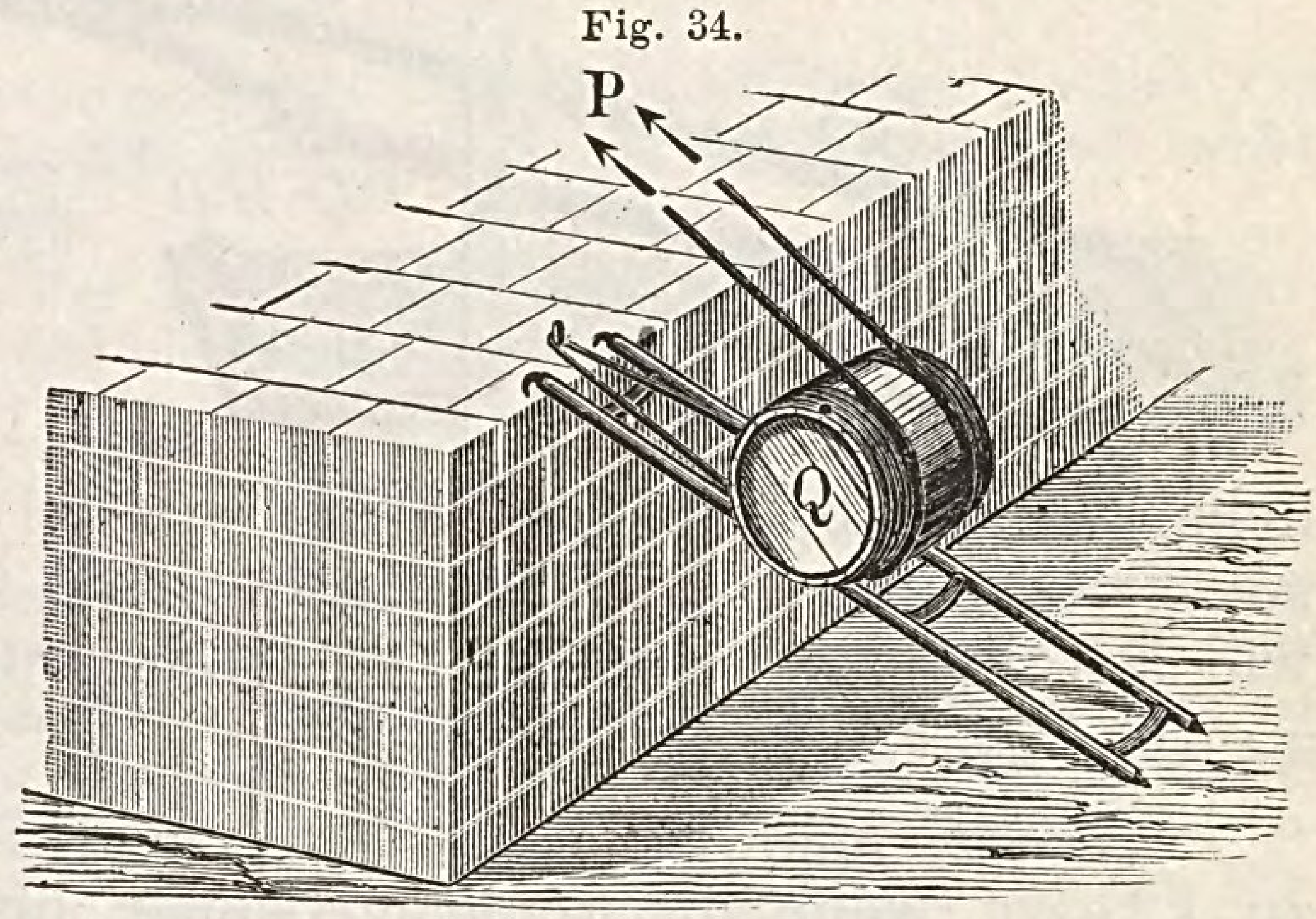
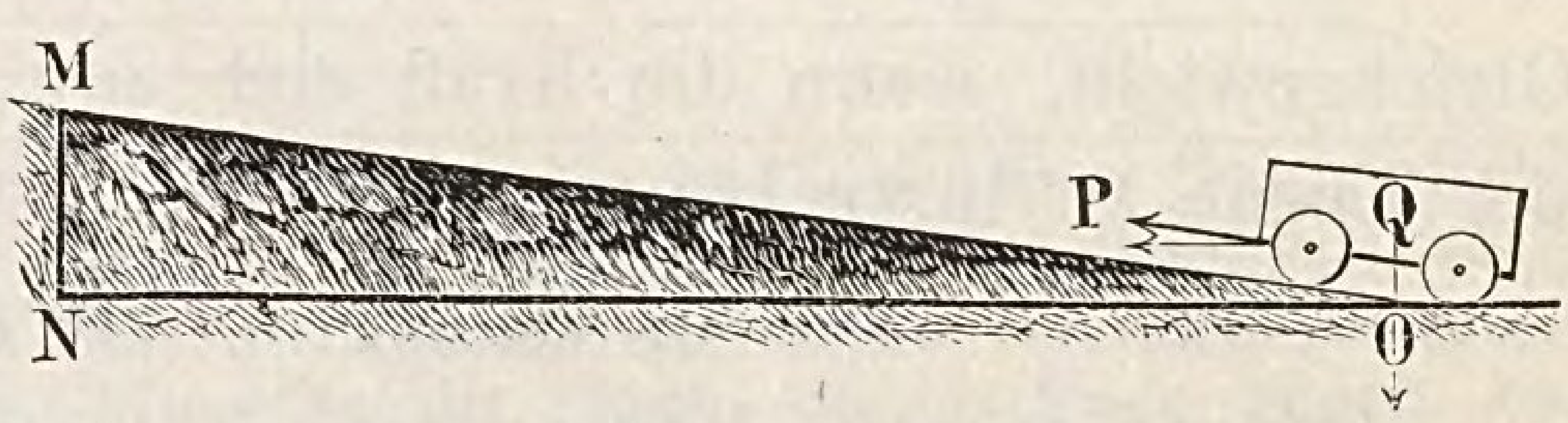


Fig. 35.



Jede gegen den Horizont geneigte Ebene, auf welcher eine Last fortbewegt werden kann, wird **schiefe Ebene** *genannt.*

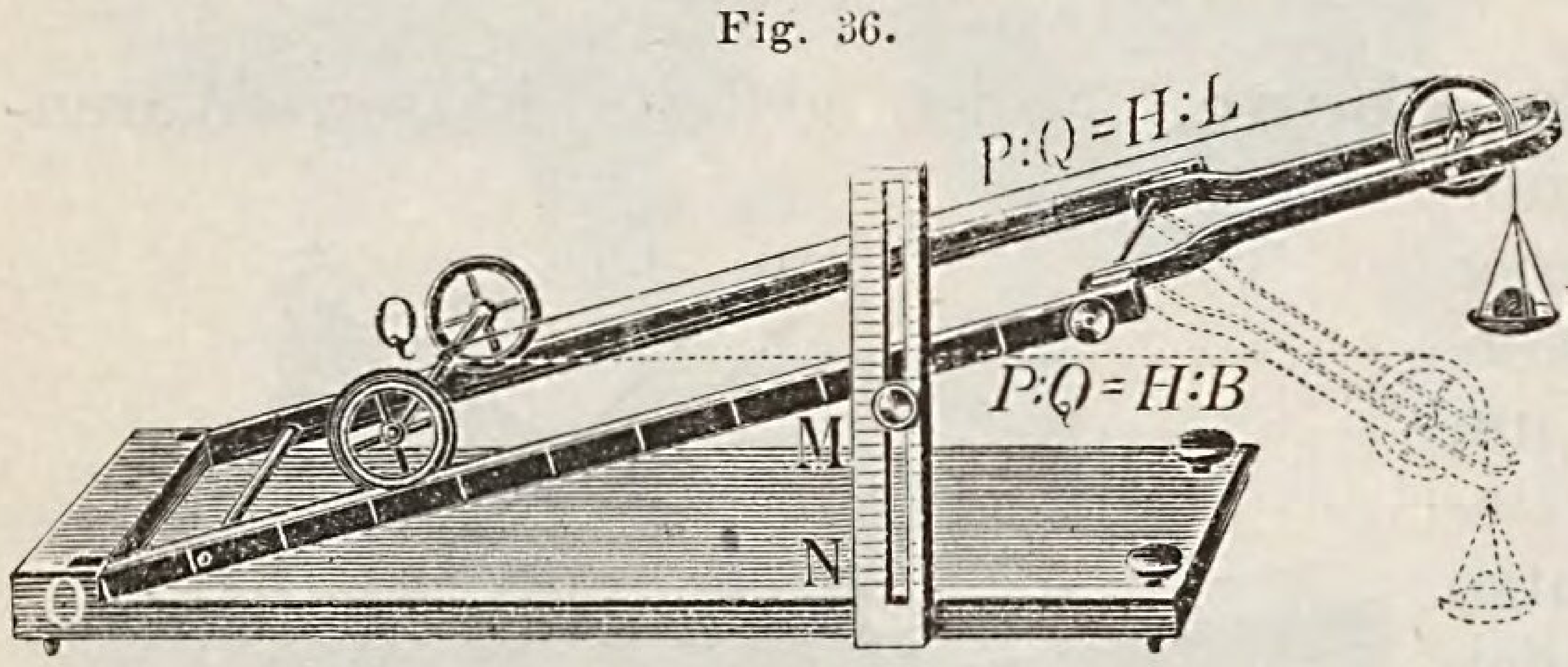
Das Lot (MN, Fig. 35) *vom höchsten Punkte* (M) *der schiefen Ebene auf die durch den tiefsten Punkt* (O) *derselben gelegte Horizontalebene heißt die* **Höhe,** *der Abstand eines höchsten Punktes* (M) *vom Fuße* (O) *heißt die* **Länge** *und der zwischen dem Fußpunkte* (O) *der schiefen Ebene und dem Fußpunkte* (N) *des Lotes gelegene Teil der Horizontalebene die* **Basis** *der schiefen Ebene. Der Winkel, welchen die schiefe Ebene mit der Basis bildet, heißt* **Neigungswinkel.**

Die tägliche Erfahrung lehrt, dafs man, um auf einer schiefen Ebene eine Last hinaufzubewegen, desto weniger Kraft nötig hat, je weniger steil die Ebene ist **(mechanischer Vorteil)**, dafs aber der Weg, welchen die Kraft zurücklegen mufs, um die Last auf eine bestimmte Höhe zu heben, mit der Verkleinerung des Neigungswinkels an Länge zunimmt **(mechanischer Nachteil)**. Genaueres hierüber lehren die folgenden Versuche.

Bem. Im folgenden sollen nur die beiden einfachsten Fälle betrachtet werden, nämlich dafs die Kraft 1) parallel zur schiefen Ebene selbst und 2) parallel zur Basis wirkt.

Versuch a. Um zu untersuchen, wie bei einer schiefen Ebene die Kraft sich zur Last verhält, benutze man einen etwa nach Fig. 36 eingerichteten Apparat. Die zweirädrige Achse, welche auf den schräg gerichteten Schienen ruht, sei die im Gleichgewicht zu haltende Last, die Schale mit den Gewichten stelle die Kraft dar. Stellt man den beweglichen Bügel so, dafs die Schnur parallel zur Ebene gerichtet ist, so entsteht immer Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie MN zu MO, also wie die Höhe zur Ebene selbst. Ist MN etwa $= 10$, MN $= 40$ cm, so ist $P = \frac{1}{4} Q$.

Fig. 36.



Ändert man die Lage der Schienen, so erweist sich die Kraft als zu klein, wenn die Schienen steiler, als zu grofs, wenn sie weniger steil liegen als vorhin.

1. Wirkt die Kraft parallel zur schiefen Ebene, so entsteht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie die Höhe (h) der Ebene zu ihrer Länge (l).

In Zeichen: $P : Q = h : l$.

Aus der Proportion folgt: $P : Q \cdot \frac{h}{l}$, d. h. Kraft = Last $\times$ Steigung der schiefen Ebene. Beträgt z. B. die Höhe 1 m, die Länge 10 m, so drückt der Bruch $\frac{1}{10}$ die Steigung aus.

Versuch b. Stellt man den Bügel so, dafs die Schnur mit der Basis ON parallel läuft, so ist zur Herstellung des Gleichgewichtes mehr Kraft als vorhin erforderlich, und zwar ist die Kraft sovielmal in der Last enthalten, als die Höhe in der Basis.

2. Wirkt die Kraft parallel zur Basis der schiefen Ebene, so tritt Gleichgewicht ein, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie die Höhe (h) zur Basis (b) der Ebene.

In Zeichen: $P : Q = h : b$.

Wird die *Last* von O bis M hinaufgezogen, so ist der Weg, welchen sie in ihrer eigenen (senkrechten) Richtung zurücklegt, gleich MN;

der von der *Kraft* in ihrer eigenen Richtung zurückgelegte Weg ist
1) gleich OM, wenn die Kraft parallel zur schiefen Ebene selbst,
2) „ ON, „ „ „ „ „ Basis der Ebene wirkt.

In letzterem Falle hat man sich vorzustellen, die Schnur behalte während der ganzen Bewegung durch allmähliche Hebung des Bügels ihre parallele Lage zur Basis bei. Für beide Fälle gilt demnach das Gesetz:

Die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, verhalten sich bei der schiefen Ebene umgekehrt wie Kraft und Last zu einander.

In Zeichen: $W_p : W_q = Q : P.$

Beispiel. Aufgabe: Die Höhe einer schiefen Ebene betrage 40 cm, ihre Länge 3 m, die Last sei gleich 400 kg. Wv. Kraft ist erforderlich, um die Last im Glgew. zu halten, a. wenn sie parallel zur Ebene wirkt; b. wenn sie parallel zur Basis wirkte und letztere 2,5 m lang wäre?

Auflösung ohne Proportion. a. Bei 1 cm Höhe würde nur der 300. Teil der Last, also $\frac{400}{300} = 1\frac{1}{3}$ kg erforderlich sein; bei 40 cm Höhe ist 40mal soviel, mithin $40 \times 1\frac{1}{3} = 53\frac{1}{3}$ kg erforderlich.

b. Bei 1 cm Höhe würde nur der 250. Teil der Last, also $\frac{400}{250} = 1{,}6$ kg erforderlich sein, bei 40 cm Höhe ist 40mal soviel, mithin $40 \times 1{,}6 = 64$ kg erforderlich.

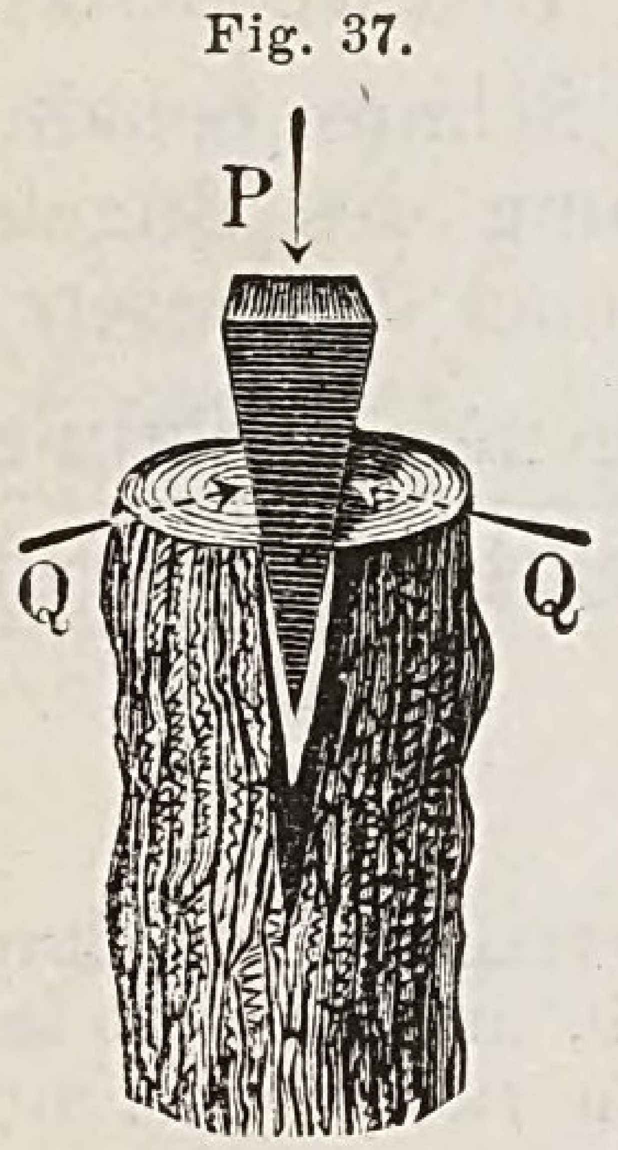
Auflösung durch Proportion. a) $P : 400 = 40 : 300$ u. s. w.
b) $P : 400 = 40 : 250$ „

Die allgemeinste Anwendung findet die schiefe Ebene bei der Fortbewegung von Lasten auf ansteigenden Strafsen und Eisenbahnen. Da die Reibung in allen denjenigen Fällen, in denen die Last auf der Ebene fortgleitet, weit mehr als beim Gebrauche der hebelartig wirkenden einfachen Maschinen als Bewegungshindernis auftritt, so ist zur richtigen Beurteilung des Verhältnisses zwischen Kraft und Last in praktischen Fällen auf den Einflufs der Reibung ganz besonders Rücksicht zu nehmen. Dasselbe gilt auch von den beiden folgenden, nach Art der schiefen Ebene wirkenden Maschinen (Keil und Schraube). In den angeführten Gesetzen ist der Einfachheit wegen von dem Reibungswiderstande abgesehen.

Übungsstoff. 1. Was ist vorteilhafter: die Zuglinie eines Gespannes so zu richten, dafs sie mit der Strafse parallel ist, oder dafs sie mit derselben einen Winkel bildet, u. w.? (Fig. 35.) — 2. Ein Fafs von 200 kg werde von zwei Arbeitern auf einer Schrotleiter von 3 m Länge hinaufgerollt, deren oberes Ende gegen eine 0,75 m hohe Mauer gelehnt ist (Fig. 34.) Wv. Kr. mufs jeder Arbeiter mindestens anwenden, um das Fafs im Glgew. zu halten, und zwar a. ohne Seil, b. mit Hülfe eines Seiles? (Vgl. zur Berechnung Fig. 27.) — 3. Wie mufs die Höhe der schiefen Ebene (Fig. 36) sich zu ihrer Länge verhalten, wenn 360 kg L. durch 72 g Kr. parallel zur Ebene im Glgew. gehalten werden sollen? — 4. Eine Kugel wiege 5 kg. Wv. Kr. mufs angewandt werden, um die Kugel in einer schrägen Rinne parallel zu letzterer im Glgew. zu halten, wenn diese auf 24 m 1,2 m Steigung hat? — 5. Welches Gew. könnte die Kugel haben, wenn 400 g Kr. angewandt würden? — 6. Wie stark dürfte die Steigung sein, wenn 9 kg mit 300 g parallel zur Ebene im Glgew. gehalten werden sollten? — 7. Vgl. die Kr., welche nötig ist, um eine L. parallel zur schiefen Ebene im Glgew. zu halten, mit derjenigen Kr., welche bei derselben schiefen Ebene angewandt werden mufs, um die gleiche L. parallel zur Basis im Glgew. zu halten. — 8. Welches ist bei einer schiefen Ebene der von der L. wirklich zurückgelegte Weg, und welches der Weg, den sie in ihrer eigenen, d. h. senkrechten Richtung zurücklegt? — 9. Wie läfst sich aus dem Verhältnis der Wege auf die Gleichgewichts-Bedingungen zurückschliefsen? — 10. Vgl. die schiefe Ebene und den Hebel miteinander hinsichtlich der Art ihrer Anwendung.

§ 12. Der Keil. Man bedient sich desselben bekanntlich zum Spalten eines Körpers (Fig. 37). Hierbei läfst man die Kraft senkrecht auf die Endfläche (den *Rücken*) des Keiles einwirken, während die Last (eigentlich die Doppellast) als Druck rechtwinklig gegen die beiden schrägen Seitenflächen (die *Seiten* des Keiles) wirkt.

Fig. 37.



Als Keil kann man jedes dreiseitige Prisma bezeichnen, dessen Grundflächen gleichschenklige Dreiecke bilden. — Der von den Seitenflächen eingeschlossene Winkel heifst Keilwinkel.

Die Erfahrung lehrt, dafs man beim Keile um so weniger Kraft anzuwenden braucht, je schmaler der Rücken desselben im Verhältnis zur Länge ist, dafs aber ein schmaler Keil tiefer eingetrieben werden mufs als ein breiter, wenn die Wirkung dieselbe sein soll.

Aus einem Vergleiche des Keiles mit der schiefen Ebene läfst sich ein genaues Verhältnis zwischen Kraft und Last ableiten. Da jedes gleichschenklige Dreieck durch das von der Spitze auf seine Basis gefällte Lot in zwei kongruente rechtwinklige Dreiecke geteilt wird, so kann man sich den Keil aus zwei gleichen schiefen Ebenen (ba und bc, Fig. 38) zusammengesetzt denken, welche mit ihrer Basis (bd) fest verbunden sind. Stellt man sich nun vor, diese beiden Hälften (bad und bcd) des Keiles seien so miteinander verbunden, dafs die Seitenflächen desselben zusammenfallen (Fig. 39), die Basis jeder der beiden schiefen Ebenen also nach aufsen gekehrt ist, so geben die beiden Hälften des Rückens (nämlich da und d_1c der Fig. 39) offenbar die Richtungen an, in welchen die Doppellast auf den Keil einwirkt. Es läfst sich daher erwarten, dafs die Kraft, welche zur Überwindung der einfachen Last erforderlich ist, zu dieser Last in demselben Verhältnis steht, wie die Höhe jeder der beiden gleichen schiefen Ebenen zur Länge dieser Ebenen (§ 11). Um die Doppellast im Gleichgewichte zu halten, mufs die Kraft doppelt so grofs sein. Zu der auf jede Seite des Keiles einwirkenden Last mufs sich also die ganze Kraft verhalten, wie die doppelte Höhe der schiefen Ebene sich zur Länge der Ebene verhält, oder mit anderen Worten: wie der Rücken des wirklichen Keiles sich zu einer der beiden Seiten verhält. — Ist der Keil (Fig. 39) ganz eingetrieben, so hat die Kraft den Weg ab zurückgelegt, der Widerstand der Last dagegen ist in seiner eigenen Richtung um die Strecke ad + cd_1, also um die Länge des Rückens, überwunden. (Verhältnis der Wege?)

Fig. 38.

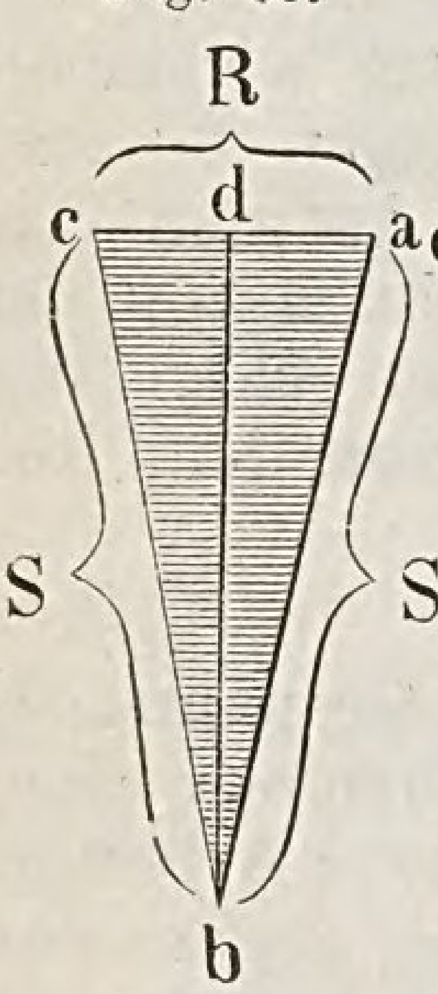
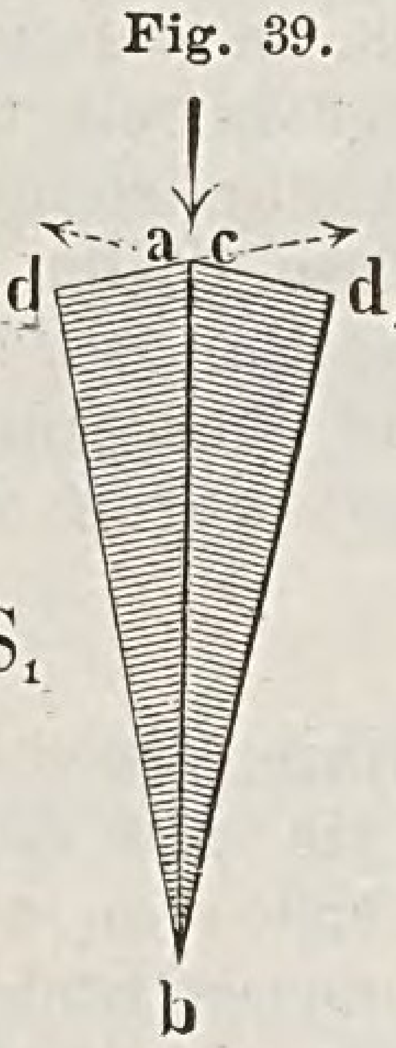


Fig. 39.



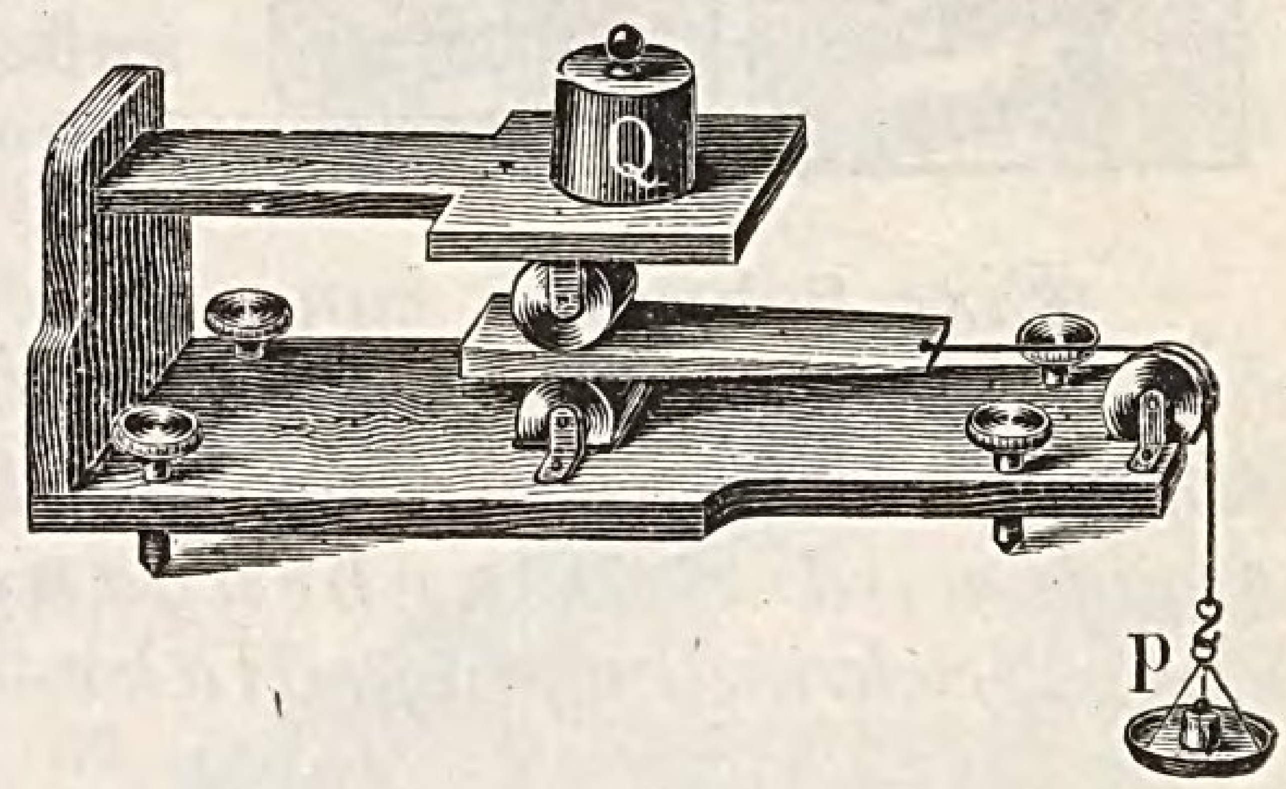
Dies läfst sich nach Anleitung von Fig. 40 (folg. Seite) mit annähernder Genauigkeit bestätigen.

Am **Keile** entsteht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zu der als Seitendruck wirkenden Last verhält, wie der Rücken (r) des Keiles zur Seite (s) desselben. — Die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, stehen im umgekehrten Verhältnis von Kraft und Last.

In Zeichen: $P : Q = r : s$ und $W_p : W_q = Q : P$.

Die Anwenduug des Keiles ist eine sehr mannigfaltige. Zahlreiche Werkzeuge, wie Messer, Nadeln, Scheren, Schwerter, Stemmeisen, Meifsel, Beile, Spaten u. s. w., überhaupt alle Werkzeuge, welche zum Spalten, Schneiden oder Stechen dienen, bilden Keile. Oft wendet man den Keil auch zur Befestigung von Gegenständen an. Alle Nägel z. B. stellen Keile dar; die Räder der Maschinen werden auf ihren Wellen meist durch Keile befestigt, desgl. Holzzapfen zu besserem Anschlufs in den zugehörigen Löchern u. s. w. Auch zur Ausübung eines bedeutenden Druckes lassen sich Keile anwenden (Keilpressen).

Fig. 40.



Übungsstoff. 1. In welcher besonderen Weise kommt die schiefe Ebene beim Keile zur Anwendung? — 2. Warum sind Beile, Messer u. dgl. so geschliffen, dafs sie ziemlich schmale Keile bilden? — 3. Rasiermesser sind gewöhnlich an einer Seite hohl geschliffen; warum wohl? — 4. Bei welchen Säugetieren tritt die Keilform der Zähne einer bestimmten Zahngruppe ganz besonders hervor? — 5. Inwiefern ist bei der gewöhnlichen Anwendung des Keiles zum Spalten von Holz die Reibung vorteilhaft? — 6. In welcher Beziehung steht nach den Beobachtungen, welche man im täglichen Leben machen kann, die Gröfse des Keilwinkels zur Kraftersparnis? — 7. Warum darf der Keilwinkel nur bis zu gewissen Grenzen verkleinert werden? — 8. Zum Abhauen von Eisen u. dgl. mufs der Keilwinkel im allgemeinen gröfser genommen werden als zum Spalten von Holz; warum wohl? — 9. Vermittelst einer Keilpresse will man (abgesehen von der Reibung) durch eine auf den Rücken des Keiles wirkende Kr. von 50 kg einen Widerstand von 450 kg überwinden. Wie mufs der Keil eingerichtet sein? Verhältnis! — 10. Wie läfst sich aus dem für die schiefe Ebene geltenden Gesetze a. das Verhältnis von Kr. und L., b. das Verhältnis der Wege für den Keil ableiten?

§ 13. Die Schraube.

Fig. 41 stellt die bekannte Einrichtung einer Bücherpresse dar. C ist eine Schraube, durch deren Kopf ein Stab, AB, gesteckt ist, Q der Gegenstand, welcher gepresst werden soll. Durch wiederholtes Umdrehen der Schraube läfst sich ein sehr starker Druck oder auch, wie bei Fig. 42, ein Zug ausüben. Dies erklärt sich daraus, dafs die schräg ge-

Fig. 41.

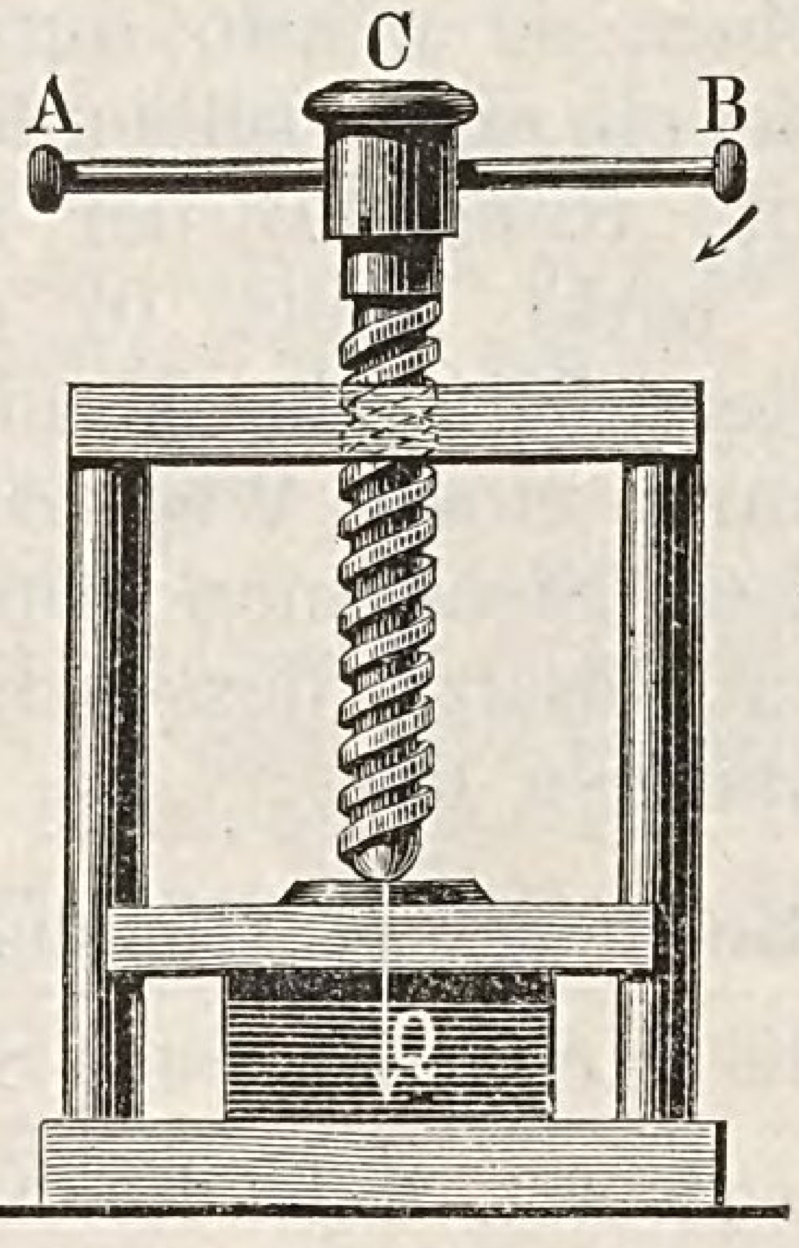
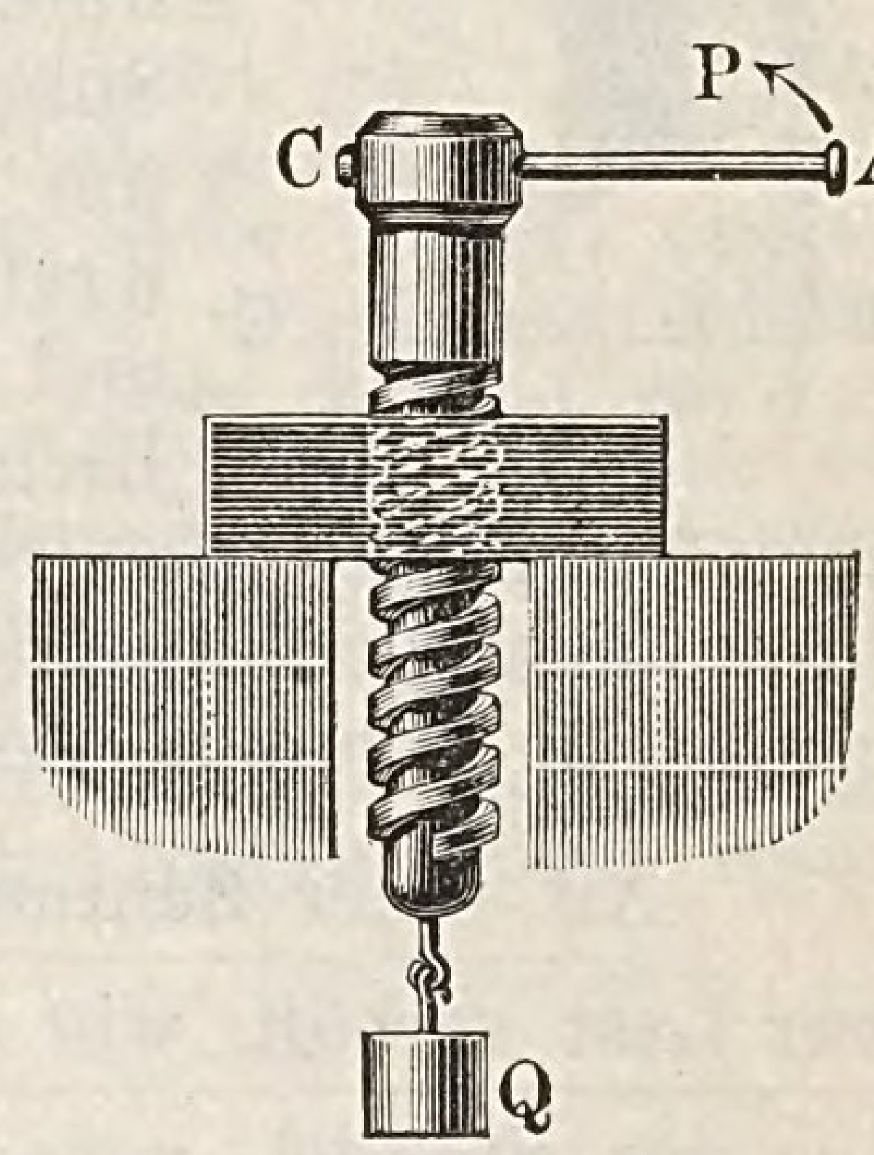


Fig. 42.



richteten Hervorragungen (Windungen), welche sich am Umfange der Schraube befinden, in ebenso gerichtete Vertiefungen des festliegenden Querbalkens eingreifen, sodafs bei der Drehung zugleich eine senkrechte Verschiebung der Schraube erfolgt. Welchen Zweck haben die Querstäbe AB und AC?

Fig. 43.

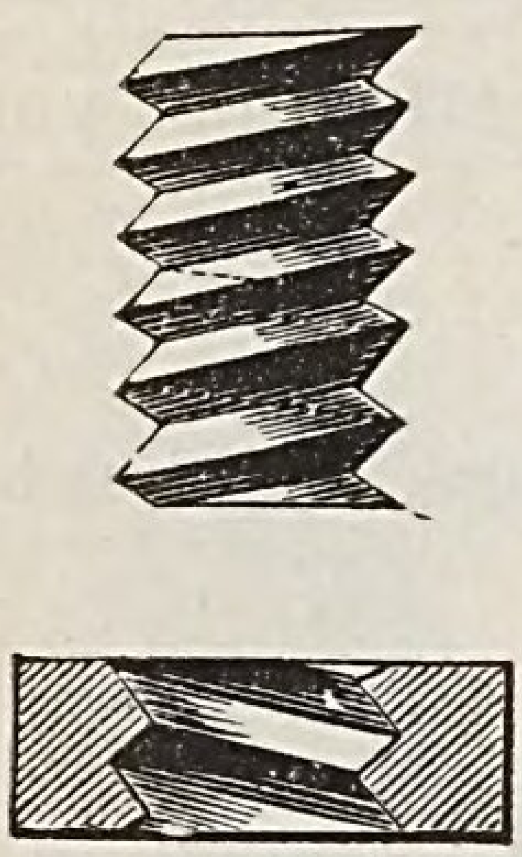
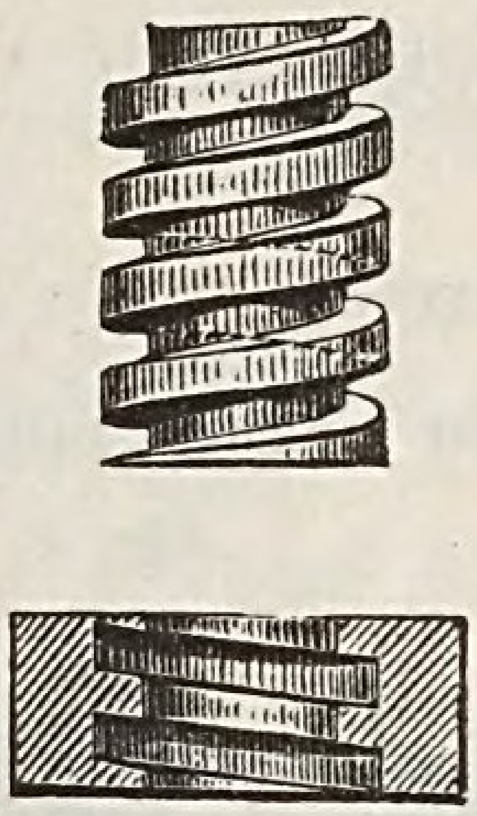


Fig. 44.



Eine vollständige Schraube besteht aus zwei Teilen: der Schraubenspindel und der Schraubenmutter. Bei der Schraubenspindel liegen die Windungen auf der äufseren, bei der Schraubenmutter auf der inneren Fläche (Fig. 43 und 44).

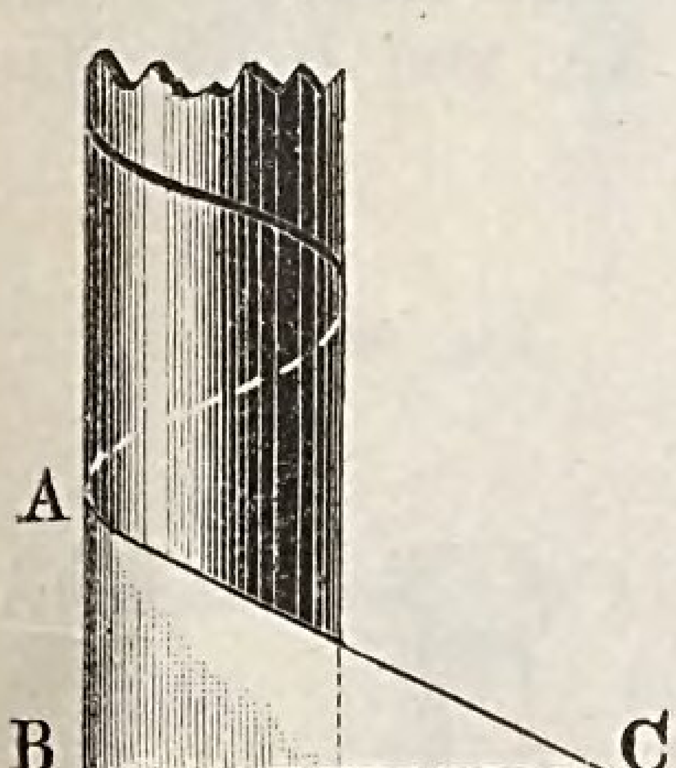
Eine **Schraube** *kann als ein Cylinder angesehen werden, auf welchem ein Gewinde, d. h. eine unter immer gleichem Winkel sich herumwindende Erhöhung angebracht ist. Ein einzelner Umgang des Gewindes wird Schraubengang, der Abstand zweier aufeinander folgenden Schraubengänge Höhe des Schraubenganges genannt.*

Die Windungen einer Schraube können scharfgängig (Fig. 43) oder flachgängig sein (Fig. 44). Kraft und Last können sowohl auf die Schraubenspindel, als auf die Schraubenmutter einwirken. Im ersteren Falle liegt die Schraubenmutter fest, und die Spindel wird um ihre Achse gedreht, wobei diese gleichzeitig eine fortschreitende Bewegung ausführt; im letzteren Falle hat die Spindel eine feste Lage, und die Schraubenmutter wird gedreht und verschoben.

Die Erfahrung lehrt: Je enger die Windungen einer Schraube sind, desto weniger Kraft braucht man bei derselben zur Ausübung eines Druckes oder Zuges anzuwenden, desto öfter aber mufs man die Schraube umdrehen, um die gleiche Wirkung zu erhalten. — Genaueres ergiebt folgende Betrachtung:

Denkt man sich um einen Cylinder (Fig. 45) ein rechtwinkliges Dreieck als schiefe Ebene gewunden, so stellt die Hypotenuse desselben einen Schraubengang dar, dessen Höhe der Höhe AB der schiefen Ebene (AC) gleich ist. Wäre nun die Windung erhaben und von einer festliegenden Schraubenmutter umgeben, so würde durch eine volle Umdrehung der Spindel ein an derselben hängendes Gewicht (vgl. Fig. 42) um die Höhe AB der schiefen Ebene gehoben. Die Kraft wirkt dabei in der Richtung der Basis BC und legt bei jeder Umdrehung der Spindel in dieser Richtung einen Weg zurück, welcher der Basis der schiefen Ebene gleich ist. Sieht man von der Reibung ab, so gelangt man daher zu folgendem Gesetze, dessen Richtigkeit sich ebenfalls durch geeignete Versuche bestätigen läfst:

Fig. 45.



$P : Q = H : U$

An einer **Schraube** herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie die Höhe (h) eines Schraubenganges zum Umfange (u) der Spindel, vorausgesetzt, dafs die Kraft am Umfange der Spindel

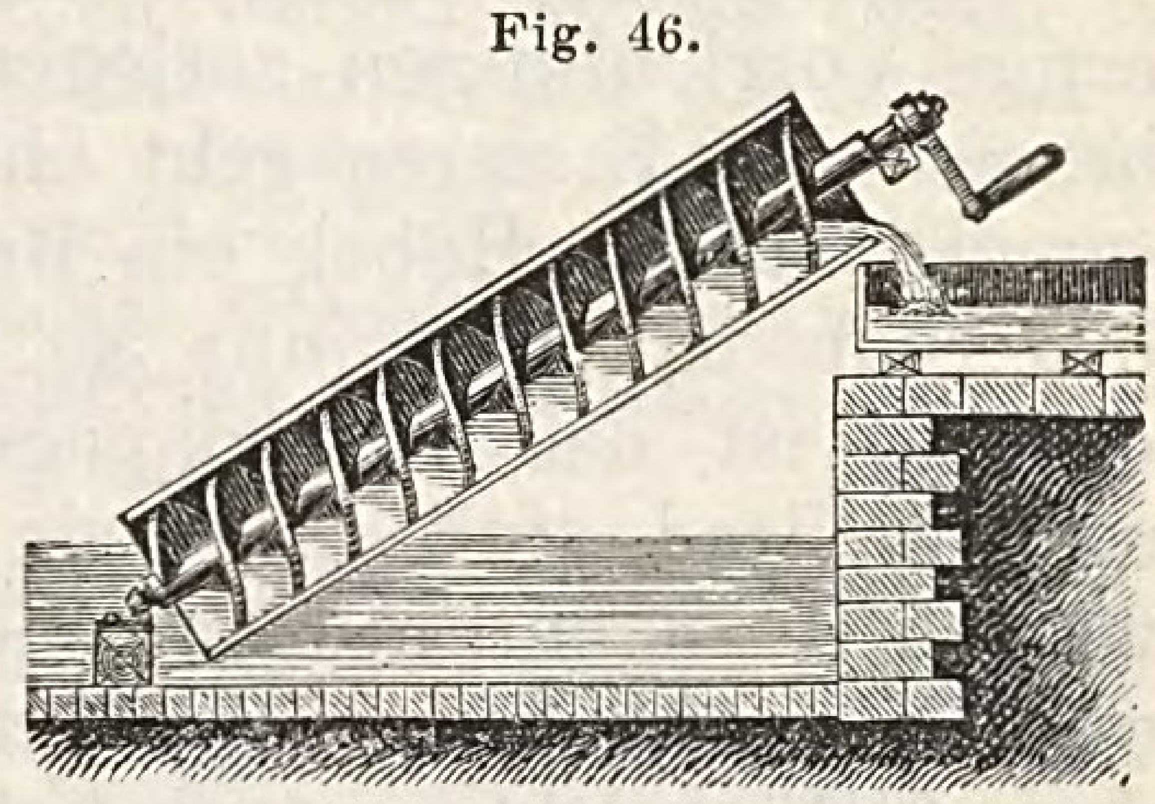
wirkt. — Bei einer Drehung der Schraube verhalten sich die Wege von Kraft und Last umgekehrt zu einander, wie sich Kraft und Last selbst verhalten.

In Zeichen: $P : Q = h : u$ und $W_p : W_q = Q : P$.

Bem. Die in Fig. 45 dargestellte Schraube nennt man links, die übrigen Schrauben, Fig. 41—44, rechts (wie ein Korkzieher) gewunden.

Wie bei der Schraubenpresse dienen auch die an Schraubstöcken, Hobelbänken, Schraubzwingen, Wagenbremsen u. s. w. angebrachten Schrauben zur Ausübung eines kräftigen Druckes. Mittelst Schrauben (Schraubenwinden) lassen sich ferner bedeutende Lasten heben, z. B. gesunkene Häuser wieder in die richtige Lage bringen. Auch zur Fortbewegung von Dampfschiffen (siehe Fig. 57), zum Richten grofser Geschütze, zum genauen Einstellen von Mikroskopen u. dgl. werden Schrauben angewandt. In unzähligen Fällen bedient man sich der Schrauben zur Befestigung von Gegenständen (Schrauben mit eingeschnittenem Kopfe). Eine schraubenartige Vorrichtung, welche dazu dient, Wasser auf geringe Höhen zu fördern, ist die sogen. Wasserschraube (Fig. 46), deren Schraubenflächen mit einem cylindrischen Mantel umgeben sind. In schräger Lage schöpft dieselbe bei jeder Umdrehuug unten Wasser, das dann immer höher steigt und oben wieder abfliefst. (Die älteste derartige Vorrichtung ist die Archimedische Wasserschnecke, eine schraubenförmig gewundene Röhre.)

Fig. 46.



Übungsstoff. 1. Vgl. die beiden schiefen Ebenen miteinander, welche am Keile und an einer vollständigen Schraube vorkommen, hinsichtlich a. ihrer gegenseitigen Lage, b. ihres Verhaltens beim Gebrauche dieser Werkzeuge. — 2. Nenne mit Schrauben versehene Werkzeuge, Instrumente u. s. w., bei denen a. die Spindel gedreht wird und die Schraubenmutter festliegt, b. das Umgekehrte stattfindet. — 3. Die Schrauben zweier Bücherpressen seien gleichdick, das Gewinde der einen aber sei enger als das der anderen. Durch welche läfst sich der stärkere Druck ausüben, u. w.? — 4. Welcher mech. N. ist damit verbunden? — 5. Durch die Umdrehungen einer Schraube soll eine gleichmäfsige und sehr langsame geradlinige Bewegung hervorgerufen werden (Drehbank, Mikroskop u. s. w.). Wie mufs die Schraube eingerichtet sein? — 6. Wv. Kr. mufs man anwenden, um mittelst einer Schraube einen Widerstand von 750 kg zu überwinden, wenn die Höhe des Schraubenganges 5 mm und der Umfang der Spindel 8 cm betrüge? (Als rechtw. Dreieck zu zeichnen.) — 7. Wievielmal so grofs ist in diesem Falle der Weg, welchen die Kr. zurücklegt, als die Strecke, auf welcher die L. überwunden wird? — 8. Wie würde sich die Wirkung ändern, wenn die Kr. nicht am Umfange der Spindel, sondern an einem quer durch den Kopf derselben gesteckten Stabe (Fig. 41 und 42) angriffe und der Angriffspunkt 5 mal so weit von der Achse der Spindel entfernt wäre als der Umfang derselben? — 9. Welchen Einflufs würde dies auf das Verhältnis der Wege ausüben? — 10. Wie läfst sich bei einer Schraube aus den Strecken, welche sich aus der drehenden und fortschreitenden Bewegung ergeben, das Verhältnis zwischen Kr. und L. ableiten? — 11. Welches sind die beiden einfachen Maschinen, auf die sich alle übrigen zurückführen lassen? — 12. Je nachdem bei der Anwendung der einfachen Maschinen nur eine Drehung oder eine Gleitung oder beides zugleich erfolgt, lassen sich dieselben in drei Gruppen teilen; welche Maschinen gehören zu jeder dieser Gruppen?

§ 14. Maschine. Goldene Regel der Mechanik.[1] Die bisher betrachteten einfachen Vorrichtungen, deren man sich zur Überwindung von Widerständen bedient, nämlich der Hebel, die Rolle, das Wellrad, die schiefe Ebene, der Keil und die Schraube, haben den Zweck, zu vermitteln, dafs die Wirkung einer Kraft günstiger ausfalle, als wenn letztere unmittelbar auf die Last einwirkt. So gestattet der gleicharmige Hebel und die feste Rolle eine vorteilhafte Änderung der Kraftrichtung, während durch die übrigen Vorrichtungen an Kraft oder an Geschwindigkeit gewonnen wird.

Jede Vorrichtung, welche dazu dient, eine Kraft in vorteilhafter Weise auf eine Last wirken zu lassen, wird **Maschine** *genannt.*

Die genannten sechs Maschinen lassen sich nicht wieder in maschinenartige Vorrichtungen zerlegen und werden daher als **einfache Maschinen** bezeichnet. Ersteres geht ohne weiteres daraus hervor, dafs ein unbiegsamer Stab als Hebel, ein Brett als schiefe Ebene benutzt werden kann; den Stab hat man nur so zu unterstützen, dafs er um einen Punkt drehbar ist, das Brett dagegen in eine schräge Lage zu bringen. Rollen und Wellrad sind, wie wir gesehen haben, nichts anderes als Hebel, welche in eigentümlicher Weise zur Anwendung kommen, während Keil und Schraube besondere Arten der schiefen Ebene sind. Nehmen wir darauf Rücksicht, in welcher Weise mit Hülfe der einfachen Maschinen ein Widerstand überwunden wird, so ergiebt sich, dafs Hebel, Rolle, Wellrad und Schraube bei ihrer Anwendung gedreht werden, der Keil hingegen sich bei seinem Gebrauche geradlinig fortbewegt, die schiefe Ebene endlich ihre Lage unverändert beibehält. Während ferner die beiden, den Keil zusammensetzenden schiefen Ebenen fest miteinander verbunden sind, gleitet bei einer vollständigen Schraube die eine der beiden schiefen Ebenen auf der anderen fort.

Alle **zusammengesetzten Maschinen** *enthalten als Hauptbestandteile einfache Maschinen, auf deren Wirkung die aller Teile der zusammengesetzten zurückgeführt werden soll.*

Bei der Betrachtung der sechs einfachen Maschinen wurde für jede einzelne derselben nachgewiesen, dafs die Wege, welche Kraft und Last bei der Überwindung des Widerstandes in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, sich stets umgekehrt wie Kraft und Last verhalten, dafs also der Kraftweg 2-, 3-, 4...mal so grofs ist als der Lastweg, wenn die Kraft nur $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... der Last beträgt. — Zwar scheint die ihre Lage nicht verändernde schiefe Ebene hiervon eine Ausnahme zu machen, da bei ihr, wenn die Kraft z. B. parallel zur Ebene wirkt, der Kraftweg demjenigen Wege immer gleich ist, welchen der auf ihr fortbewegte Körper in Wirklichkeit zurücklegt. Berücksichtigt man jedoch, in welcher Richtung der bewegte Körper vermöge der Schwere bei direkter Einwirkung der Kraft einen Widerstand leistet, und in welcher Richtung die Kraft diesen Widerstand bei Anwendung der Maschine überwindet, so überzeugt man sich leicht, dafs als die eigentlichen Last- und Kraft-

[1] μηχανή (mechané), Werkzeug.

wege diejenigen Strecken aufzufassen sind, welche Last und Kraft in ihrer eigenen Richtung zurücklegen. In diesem Sinne aber ist bei der schiefen Ebene die Höhe, um welche die Last gehoben wird, als Lastweg zu bezeichnen. Für alle Maschinen gilt demnach auch der Satz:

Was bei einer Maschine an Kraft gewonnen wird, geht am Wege verloren, oder: der mechanische Vorteil ist stets gleich dem mechanischen Nachteile. **(Goldene Regel der Mechanik.*)**

Es könnte hiernach scheinen, als ob der Gebrauch der einfachen Maschinen keinen praktischen Nutzen gewährte, zumal auch noch Reibungshindernisse zu überwinden sind und also eigentlich sogar mehr Arbeit aufzuwenden ist, als schliefslich geleistet wird. Die Erfahrung lehrt jedoch, dafs ohne Maschinen sehr häufig die zur Verfügung stehenden Kräfte gar nicht ausreichen würden, gewisse Lasten zu bewegen. Der wirkliche Nutzen besteht also wesentlich darin, dafs die Maschinen es ermöglichen, kleinere Kräfte auf längere Zeit wirksam zu machen, um dadurch Leistungen zu erzielen, zu denen sonst viel gröfsere Kräfte erforderlich sein würden. Aufserdem gewährt die Anwendung einfacher Maschinen meist noch den Vorteil, dafs man die Kraft in einer bequemeren Richtung wirken lassen kann.

Übungsstoff. 1. In welchem Falle bewegt sich der Angriffspunkt der L. beim Heben des Steines (Fig. 13 und 14) in der Kraftrichtung selbst und in welchem Falle entgegengesetzt? — 2. Vgl. die Strecken miteinander, um welche der Angriffspunkt der L. von dem der Kr. entfernt ist, wenn ein Stab einmal als einarmiger, ein andermal als zweiarmiger Hebel gebraucht wird, in beiden Fällen aber der mech. V. derselbe ist. — 3. Wie weit ist bei Anwendung a. einer festen, b. einer losen Rolle der Angriffspunkt der L. von dem der Kr. entfernt? — 4. Vgl. die Richtungen miteinander, in denen Kr. und L. sich dabei bewegen, wenn die Seilteile parallel sind. — 5. Wodurch unterscheiden sich bei einem mit Kurbel versehenen Wellrade die Wege, welche Kr. und L. zurücklegen, hinsichtlich a. ihrer Gestalt, b. ihrer Länge? — 6. Welche Wege hat man bei einer schiefen Ebene miteinander zu vergleichen, wenn die goldene Regel der Mechanik darauf Anwendung finden soll? — 7. Inwiefern kann man sagen, dafs bei der schiefen Ebene die Kr. in veränderter Richtung wirkt? — 8. Ein Keil werde von oben in einen Klotz eingetrieben. In welcher Richtung werden dabei durch die senkrecht wirkende Kr. die Widerstände überwunden? — 9. Welche Lage haben die Richtungen, in denen die Widerstände überwunden werden, gegen die Richtung der Kr.? — 10. Vgl. die Wege, welche Kr. und L. bei einer Schraube zurücklegen, miteinander in Bezug a. auf ihre Gestalt, b. auf ihre Länge.

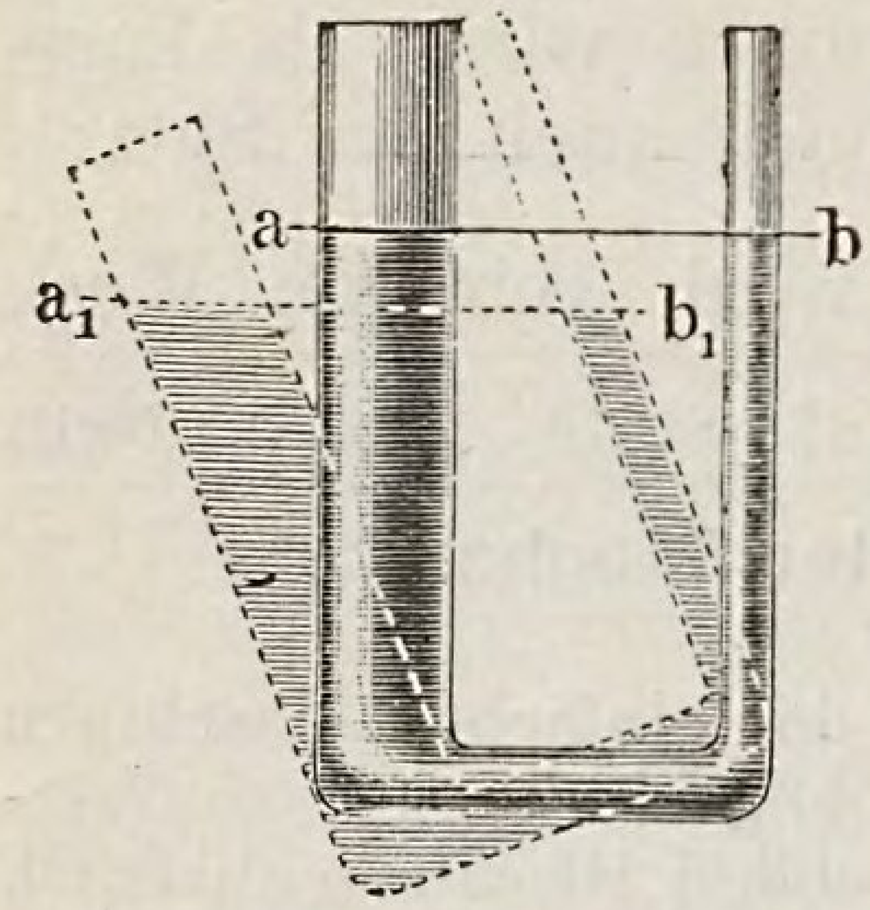
B. Von den flüssigen Körpern.

§ 15. Freie Oberflächen. Leitend verbundene (kommunizierende) Gefäfse. Die Erscheinung, dafs eine in Ruhe befindliche Flüssigkeit bei jeder beliebigen Stellung ihres Gefäfses eine Horizontalebene bildet (§ 1), ändert sich nach allbekannten Erfahrungen nicht, wenn man die Flüssigkeit etwa durch Eintauchen eines festen Körpers so trennt, dafs die Teile noch an irgend einer Stelle zusammenhängen. Werden Gefäfse, welche aus mehreren in offener Verbindung stehenden Teilen bestehen (Giefskannen, Kaffeetöpfe u. dgl.), mit einer Flüssigkeit gefüllt, so steigt die Flüssigkeit auch im Ausflufsrohre, und zwar bei jeder Stellung des Gefäfses augenscheinlich

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 60.

bis zu gleicher Höhe (* Versuch mit einem Glasgefäfse nach Fig. 47).

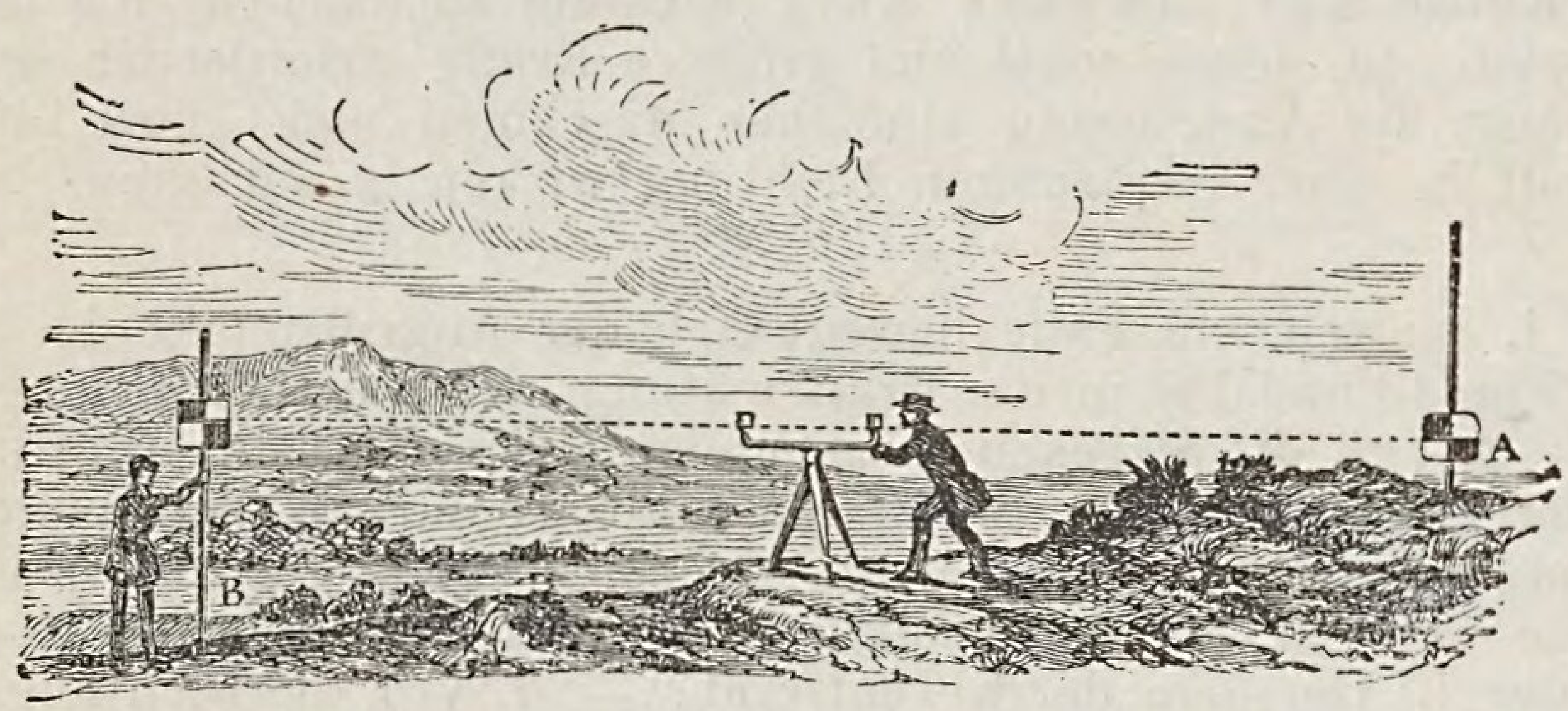
Fig. 47.



Zusammengesetzte Gefäfse, deren Teile so miteinander verbunden sind, dafs die darin enthaltene Flüssigkeit ungehindert aus einem Teile in den anderen fliefsen kann, werden **leitend verbundene** *oder* **kommunizierende**[1]) **Gefäfse** *genannt.*

Über den Stand der Flüssigkeiten in leitend verbundenen Gefäfsen giebt die **Kanalwage** (Fig. 48) den genauesten Aufschlufs. Sie besteht aus einer etwa 1 m langen und 3—4 cm weiten Messingröhre, welche an jedem Ende eine kurze, senkrechte Glasröhre trägt, und dient zum Nivellieren, d. h. zur Ermittelung von Höhenunterschieden behufs Herstellung von Wassergräben, Röhrenanlagen zur Entwässerung von Ackerland u. dergl. Zum Gebrauche wird das Instrument mit Wasser gefüllt, an dessen Rändern man vor- und rückwärts vorbeisieht.

Fig. 48.



In leitend verbundenen (kommunizierenden) Gefäfsen liegen die freien Oberflächen einer in Ruhe befindlichen Flüssigkeit in derselben Horizontalebene.

Bem. Nur bei ganz engen Röhren findet eine Abweichung statt, von der später die Rede ist (§ 54).

Weitere Anwendung leitend verbundener Gefäfse.

Wasserstandsgläser: An Wasserbehältern mit undurchsichtigen Wänden, bei denen es wichtig ist, den Stand der Flüssigkeit zu kennen (z. B. Dampfkessel der Dampfmaschinen), werden aufsen senkrecht stehende Glasröhren angebracht, welche so befestigt sind, dafs sie an beiden Enden mit dem Innenraume des Gefäfses in offener Verbindung stehen.

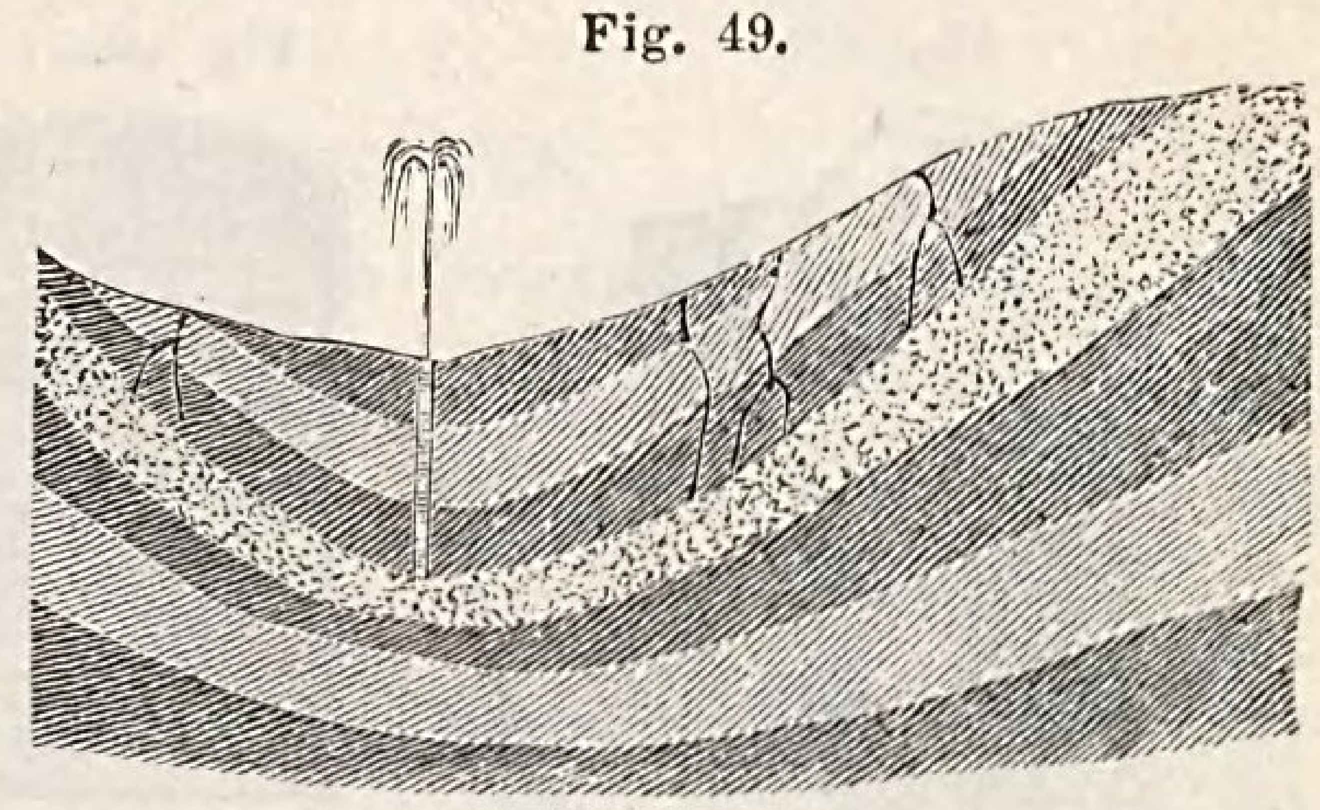
Springbrunnen: Ist der eine der beiden Schenkel zweier mit Wasser gefüllten kommunizierenden Röhren bedeutend kürzer als der andere und oben mit einer engen Mündung versehen, so entsteht ein Springbrunnen.

Wasserleitungen: Aus Teichen, Seen oder Behältern, welche in sogen. Wassertürmen aufgestellt sind, läfst sich das Wasser durch Röhren bis in die obersten Stockwerke der Häuser leiten, wo es mit um so gröfserem Drucke ausfliefst, je höher der Wasserspiegel über der Ausflufsmündung liegt.

[1]) communicare, mitteilen, in Verbindung stehen, zusammenhängen.

Artesische Brunnen: Wo der Erdboden ausgedehnte, geneigte oder muldenförmige Schichten von Geröll, Kies oder dergl. (Fig. 49) enthält, welche beiderseits von dichtem Thon oder Mergel eingeschlossen sind und irgendwo zutage treten, können durch Einsickern der atmosphärischen Niederschläge unterirdische Wasserbecken entstehen. Wird nun beim Bohren eines Brunnens eine solche Schicht getroffen, so steigt das Wasser im Bohrloche hinauf. Je nach der Höhe des Wasserstandes in der durchlassenden Schicht entstehen auf diese Weise gewöhnliche Brunnen oder Springbrunnen, welche oft bedeutende Mengen Wasser liefern. — Die artesischen Brunnen haben ihren Namen von der Grafschaft Artois (spr. Artoa) in Frankreich, wo sie schon in früherer Zeit häufig angelegt worden sind.

Fig. 49.



Durch das Gesetz der kommunizierenden Gefäſse erklärt sich auch die Erscheinung, daſs das Grundwasser mit dem Steigen und Fallen benachbarter Flüsse steigt und fällt.

Übungsstoff. 1. Im Innern des wagerechten Teiles einer zum praktischen Gebrauch eingerichteten Kanalwage befindet sich nahe am Ende eine Querwand mit kleiner Öffnung. Einfluſs auf die Schnelligkeit, mit welcher das W. bei schräger Haltung der Röhre seinen Stand ändert? (Vorteil beim Transport!) — 2. Kann es beim Gebrauche der Kanalwage auf die Richtigkeit des Verfahrens einen Einfluſs ausüben, ob die Verbindungsröhre wagerecht oder ein wenig schräg steht? Grund! — 3. Mittelst einer Kanalwage sei die Lage zweier Punkte, A und B (Fig. 48), bestimmt. Um wv. liegt der eine höher als der andere, wenn nach den Ablesungen an der Nivellierlatte A 76 cm, B 130 cm unter der Visierlinie liegt? — 4. Warum muſs auch das obere Ende einer Wasserstandsröhre mit dem Innenraume des Behälters in offener Verbindung stehen? (Vgl. § 123.) — 5. Wie läſst sich aus einem Trichter, einem Gummischlauche und einer zugespitzten Glasröhre ein kleiner Springbrunnen herstellen? — 6. Wie verhält sich die Höhe, welche der Strahl eines Springbrunnens erreicht, zu der Höhe des Wasserstandes im Behälter? Erkläre dies. — 7. Wovon hängt die Höhe des Wasserstrahles eines artesischen Brunnens wesentlich ab, und warum können in ebenen Gegenden keine artesischen Brunnen vorkommen, welche Springbrunnen bilden? — 8. Inwiefern können Erdschichten wie die oben abgebildete beim Bergbau (etwa bei Anlage eines Stollens) sehr störend werden? — 9. Inwiefern ist bei der Anlage von Wasserleitungen das Gesetz der kommunizierenden Gefäſse zu berücksichtigen? — 10. Können Wasserleitungen auch über Anhöhen gelegt werden, und unter welcher Bedingung? — 11. Bei Hochwasser macht sich das Gesetz über leitend verbundene Gefäſse oft in sehr unangenehmer Weise geltend; inwiefern? — 12. Worin mag es seinen Grund haben, daſs diese Ersch. bei schnellem Steigen des Hochwassers gewöhnlich etwas später eintritt und bei schnellem Fallen desselben erst allmählich wieder verschwindet?

§ 16. Allseitiger Druck der Flüssigkeiten.*) Wird ein Gefäſs, das mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, an irgend einer Stelle leck, so sickert oder flieſst die Flüssigkeit um so stärker aus, je tiefer die schadhafte Stelle unter dem Flüssigkeitsspiegel liegt. Lockert man an gefüllten Regenfässern oder dergl. den Stöpsel und läſst ihn dann los, so wird er vom ausströmenden Wasser um so weiter fortgeschleudert, je höher das Wasser im Gefäſse steht (Fig. 50, folg. Seite).

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 79.

Wie wirkt hiernach eine Flüssigkeit auf Boden und Wand des Gefäſses? — Was wird eintreten, wenn Kähne oder Schiffe im Wasser leck werden, und was läſst sich daraus schlieſsen?

Fig. 51.

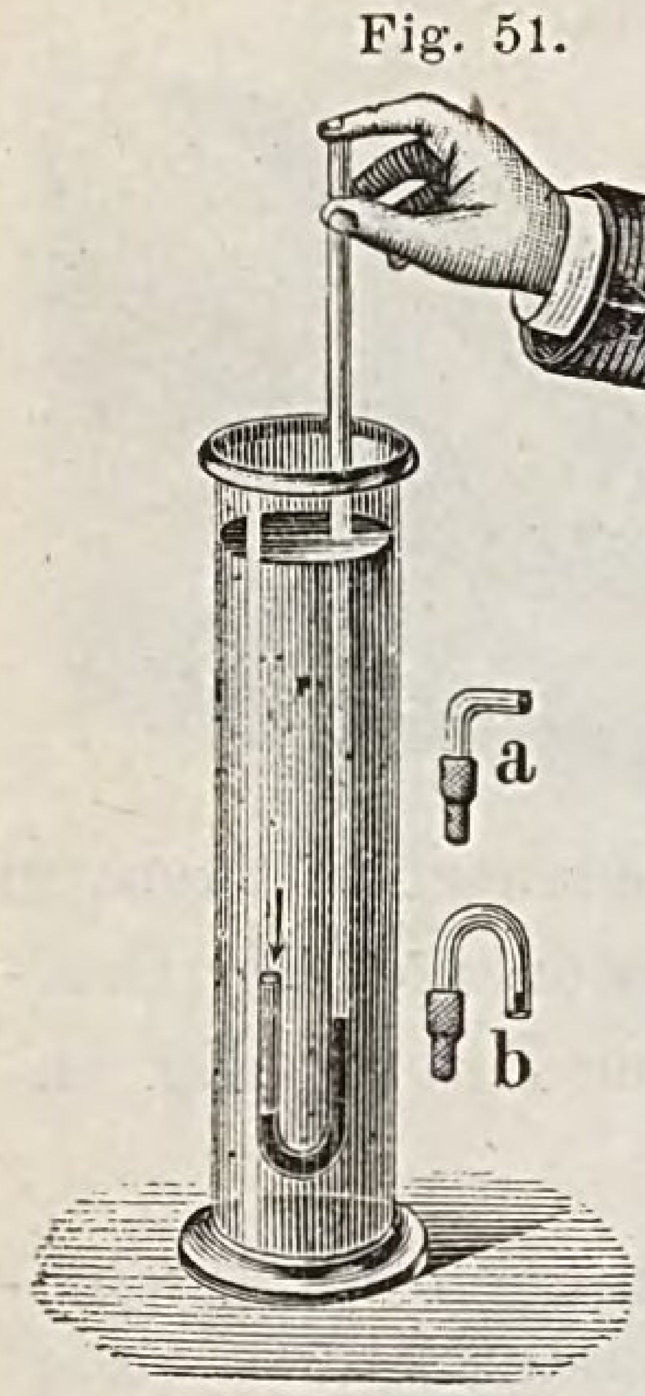
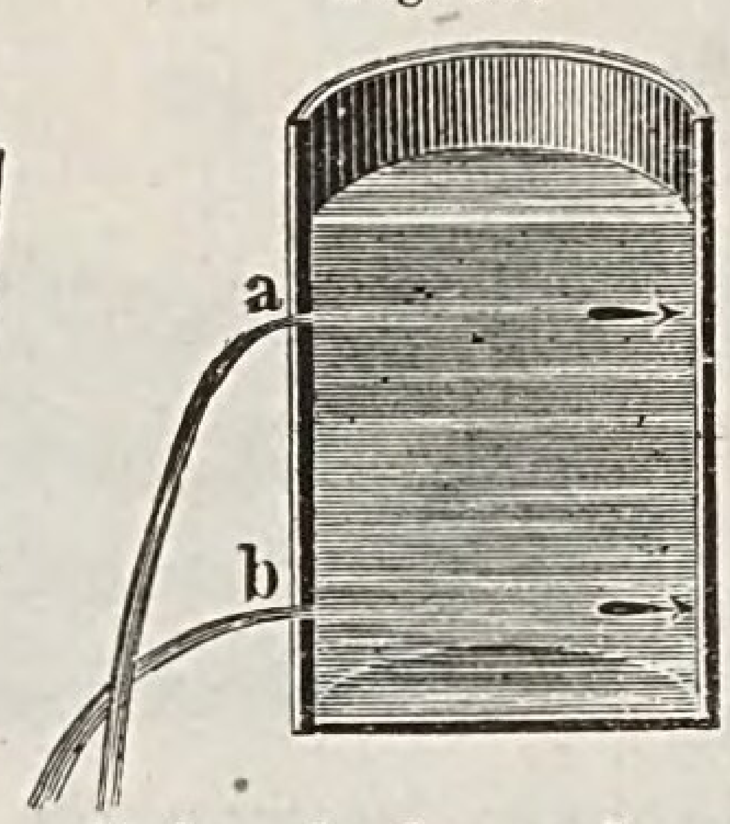


Fig. 50.



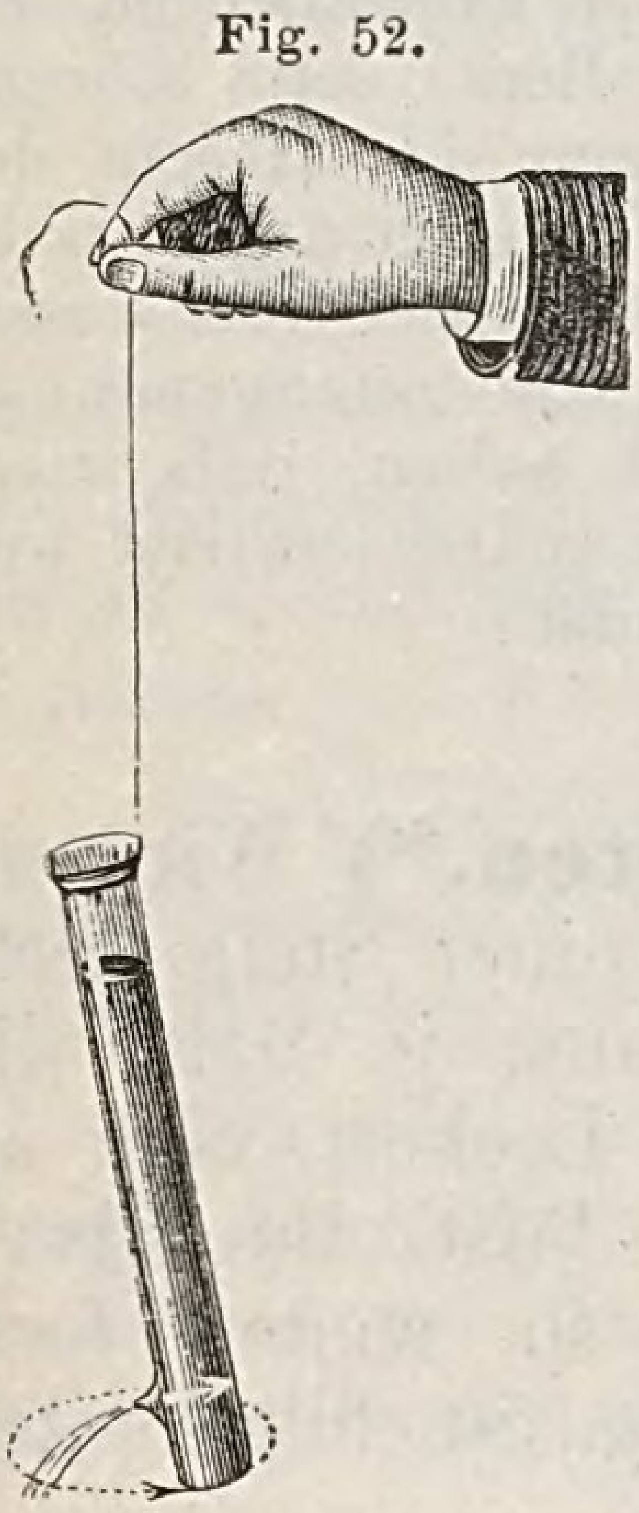
* **Versuch.** Taucht man eine U förmig gebogene Glasröhre, welche etwas (gefärbtes) Wasser enthält, in Wasser ein, indem man die Öffnung des langen Schenkels der Röhre mit dem Finger fest verschlieſst (Fig. 51), so sinkt die Flüssigkeit im kurzen Schenkel und zeigt dadurch einen Druck an. Dasselbe erfolgt auch, wenn man auf den kurzen Schenkel einmal eine kurze knieförmig gebogene (a), ein andermal eine U förmig gebogene Glasröhre (b) befestigt. In gleichen Tiefen ist der Abstand der beiden Flüssigkeitsoberflächen in der Regel an allen Punkten derselbe. Derartige Versuche lehren:

Flüssigkeiten üben sowohl auf die Gefäſswände als auch in ihrem Innern (auf die Flüssigkeitsteilchen selbst) *nach allen Richtungen einen Druck* aus, der mit der Tiefe zunimmt und in gleichen Tiefen an allen Punkten derselbe ist, welche Gestalt das Gefäſs auch haben mag.

Wegen des starken Wasserdruckes müssen groſse Fässer, Bottiche u. dgl., tiefliegende Röhren von Wasserleitungen, ferner Deiche und Schleusenthore, sowie die Wände der Schiffe (namentlich die Böden derselben) sehr stark sein. — Gegenstände, welche auf dem Grunde des Meeres liegen, haben bei groſser Tiefe einen bedeutenden Druck auszuhalten. Fische und andere Meeresbewohner empfinden diesen Druck nicht, da derselbe durch einen gleichen Gegendruck von innen aufgehoben wird.

Sind mit Flüssigkeit gefüllte Gefäſse um eine senkrechte Achse drehbar, so kann das seitliche Ausflieſsen der Flüssigkeit eine Drehung des Gefäſses zur Folge haben (Probiergläschen mit kleiner seitlicher Öffnung, Fig. 52; Segnersches Wasserrad, Fig. 53, folg. Seite). *Die Drehungsrichtung ist dabei der Ausfluſsrichtung des Strahles entgegengesetzt.* (*Versuch nach Fig. 52.)

Fig. 52.



Die Ursache dieser Erscheinung ist der Seitendruck des Wassers. Da das Wasser in derselben Tiefe auf alle Punkte der Gefäſswand einen gleichen Druck ausübt, so heben sich an je zwei gerade entgegengesetzten Punkten die Druckkräfte auf, d. h. keine von beiden Kräften kann, solange diese zusammen wirken, das Gefäſs in Bewegung setzen. Sobald aber der Druck an einer Stelle aufgehoben wird, muſs durch den gerade entgegengesetzten Druck, und zwar in der Richtung desselben, eine Bewegung erfolgen: **Rückwirkung** oder **Reaktion.** (Die

Drehung kann offenbar nur dann eintreten, wenn die Richtung des Strahles nicht genau durch die senkrechte Achse hindurchgeht.)

Anwendung des Wasserdruckes.

Räder, welche durch Rückwirkung des Wassers in Bewegung gesetzt werden, heifsen **Reaktionsräder** oder **Reaktionsturbinen.** Eine sehr einfache Vorrichtung dieser Art ist das sogen. Segnersche Wasserrad (Fig. 53). Es besteht aus einem aufrechten, hohlen Cylinder, welcher sich um seine Achse drehen kann und unten zwei oder mehrere quer gerichtete, ebenfalls hohle Arme trägt. Jeder Arm hat eine seitliche Öffnung. Wird von oben Wasser hineingeleitet, so fliefst es unten in Strahlen aus, und der Cylinder dreht sich durch Rückwirkung des Wassers. Reaktionsräder, bei denen zur Verminderung der Reibung das Wasser von unten in den Cylinder geleitet wird, werden unter dem Namen Reaktionsturbinen im grofsen angewandt.

Fig. 53.

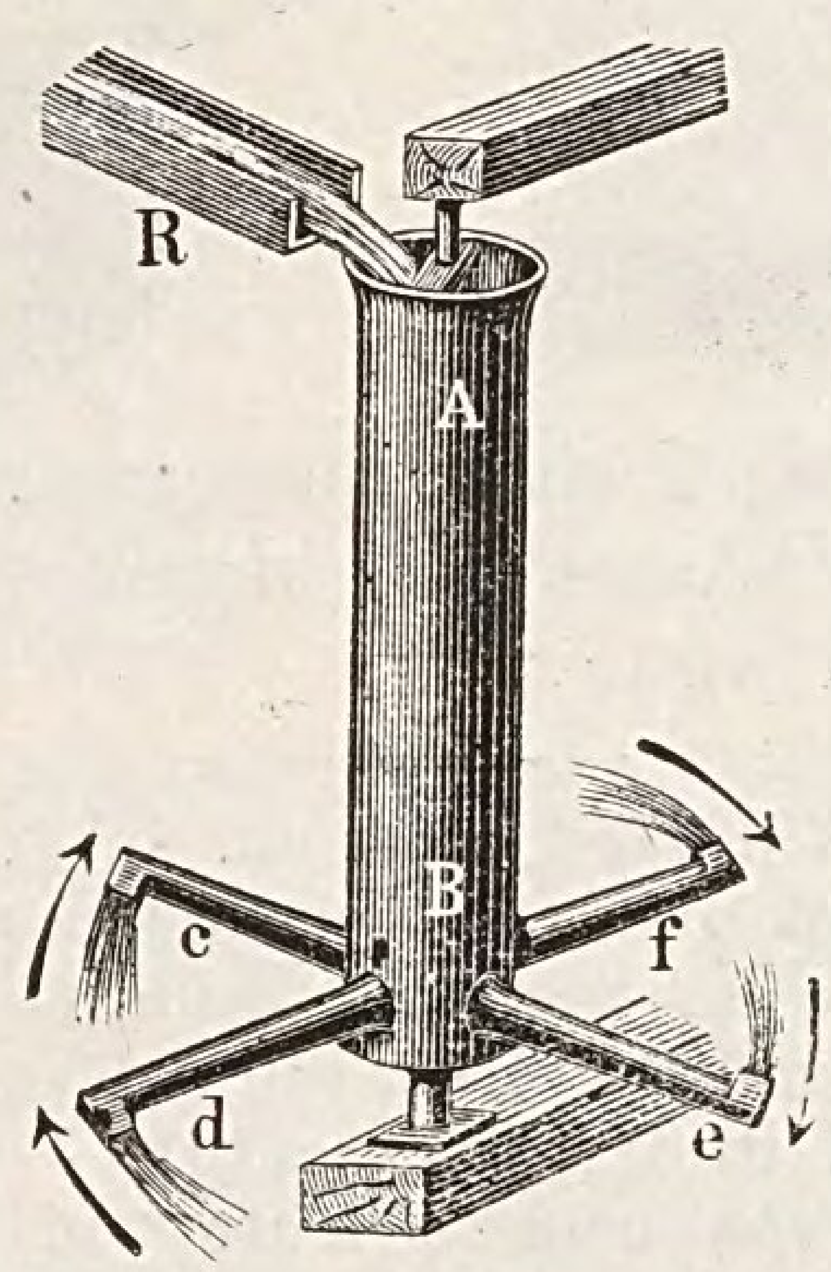
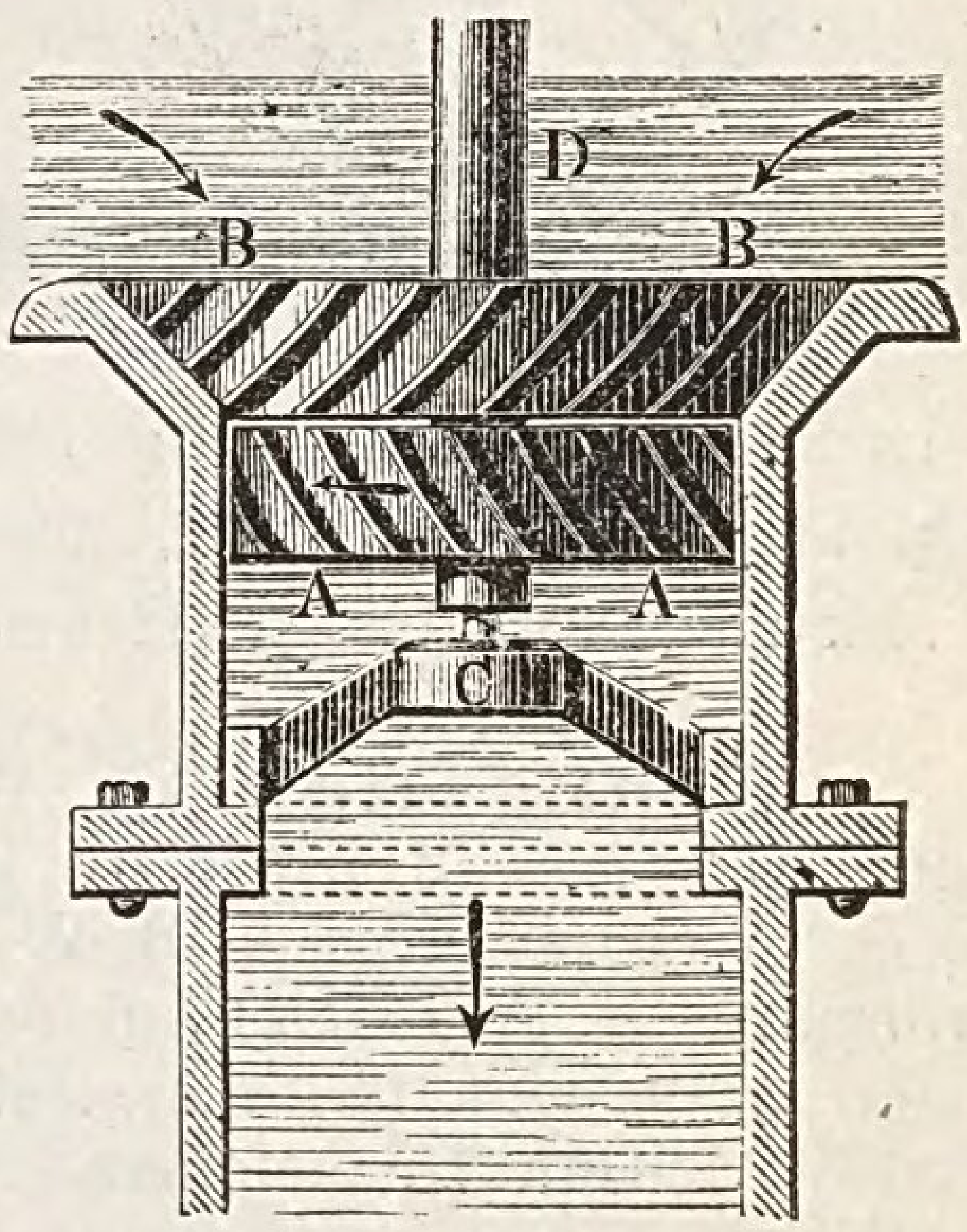


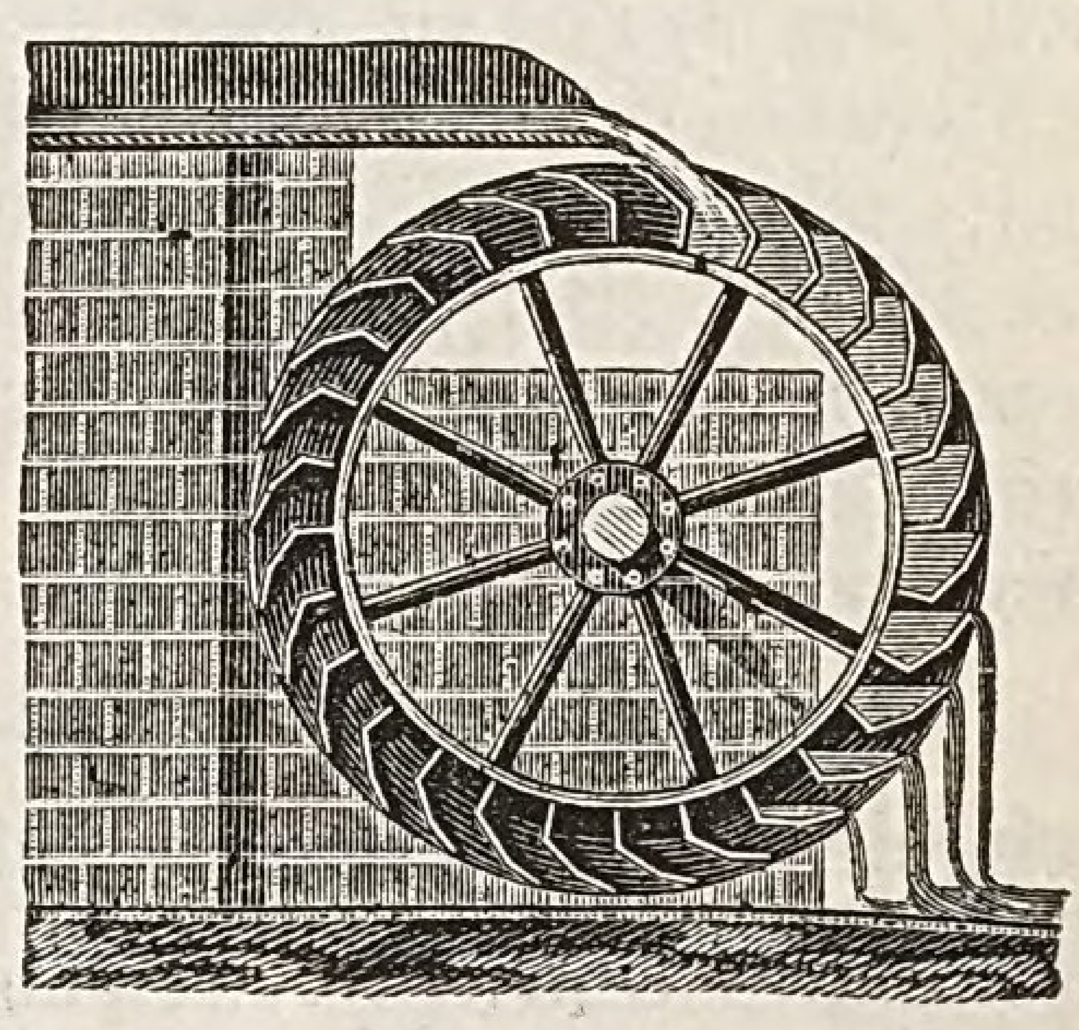
Fig. 54.



Von den Reaktionsrädern unterscheiden sich die **eigentlichen Turbinen**[1] oder **horizontalen Wasserräder** (Fig. 54). Bei diesen wird das Wasser zunächst in einen weiten, trichterförmigen (oder auch cylindrischen) Raum geleitet, welcher durch feststehende, gekrümmte Eisenplatten, Leitschaufeln (BB), in zahlreiche Zellen abgeteilt ist. Dadurch wird die Richtung des Wassers derart geändert, dafs es einen kräftigen Druck gegen die Schaufeln eines horizontalen Rades (Radschaufeln, AA) ausübt, sodafs dieses sich dreht. Bei den eigentlichen Turbinen erfolgt demnach die Umdrehung des Wasserrades nicht durch Rückwirkung, sondern durch den Druck herabfallenden Wassers.

Gewöhnlich läfst man das Wasser auf **senkrecht stehende Räder** einwirken und zwar so, dafs es von oben in die Schaufeln des Rades fällt (Fig. 55) und durch den Stofs, besonders aber durch sein Gewicht, das Rad dreht (oberschlägige oder oberschlächtige Räder), oder so, dafs es vor der Achse des Rades auf die Schaufeln desselben fällt (mittelschlägige oder mittelschlächtige Räder), oder aber in der Weise, dafs es mit grofser Geschwindigkeit unter dem Rade hindurchfliefst (Fig. 56, folg. Seite) und durch einen kräftigen Stofs das Rad in Bewegung setzt (unterschlägige oder unterschlächtige Räder).

Fig. 55.

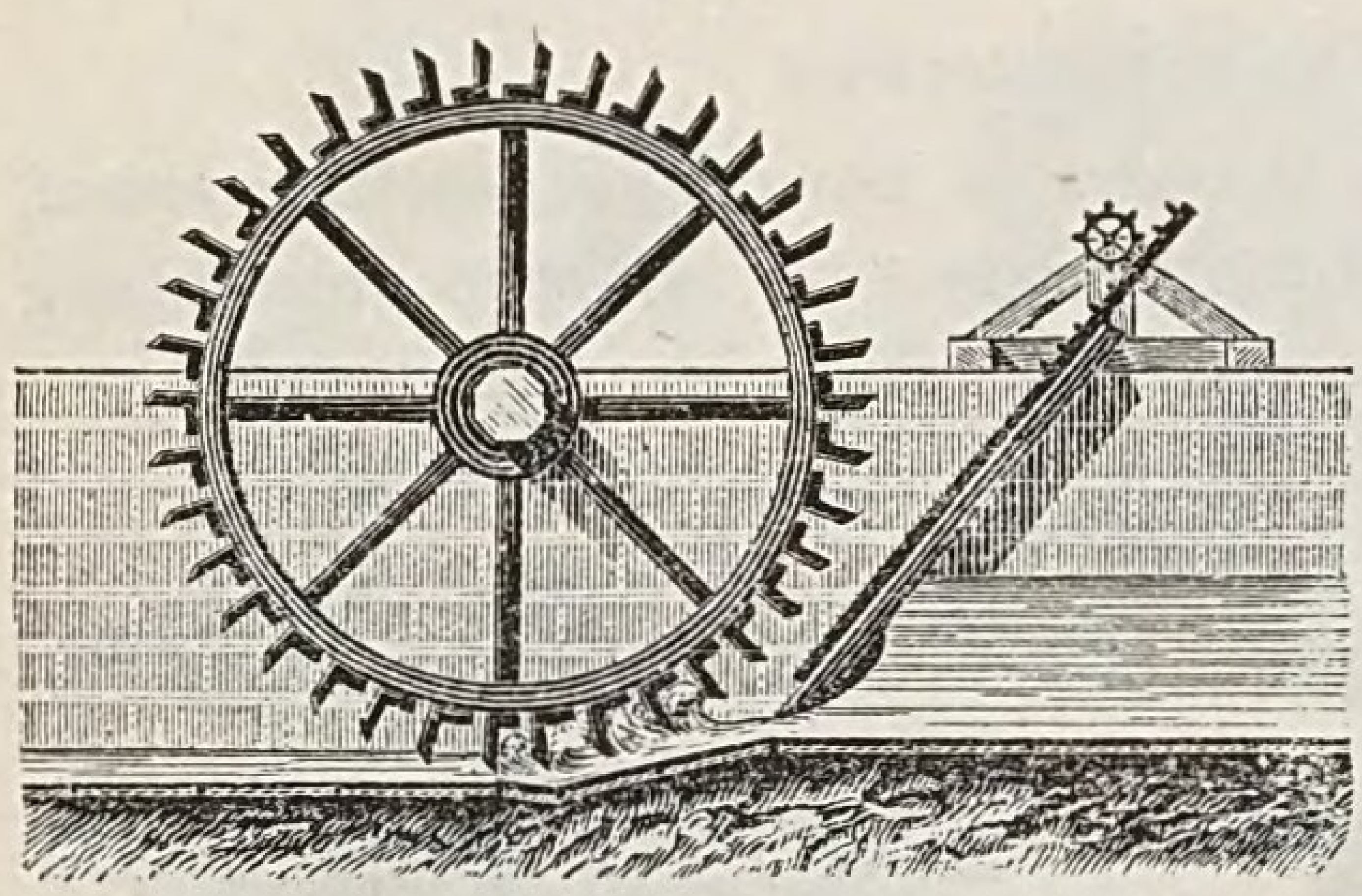


Bei den **Rädern und Schrauben der Dampfschiffe** ist die Wirkung umgekehrt wie bei

[1]) turbo, Wirbel, Kreisel.

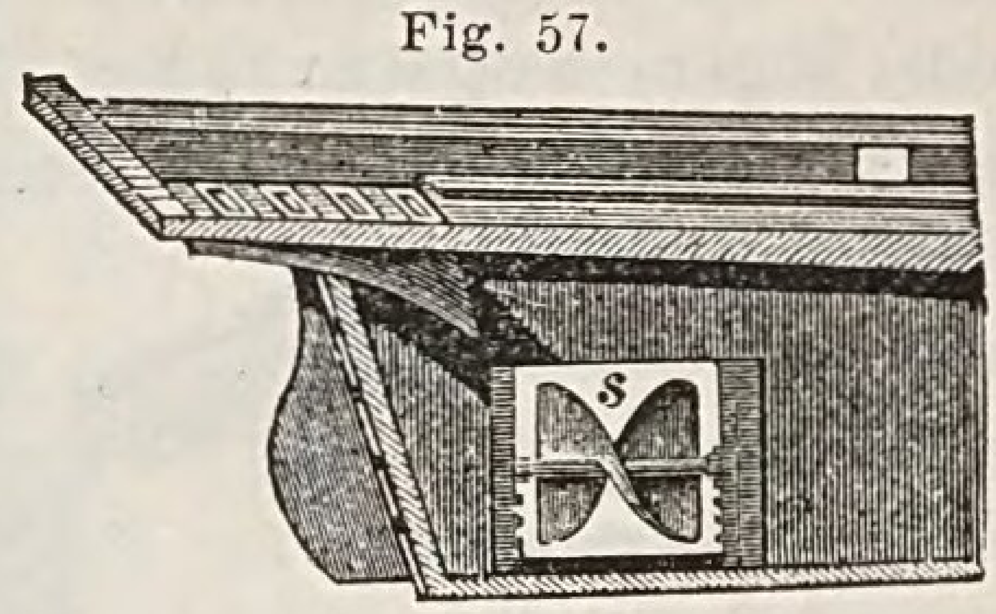
den vorher genannten Wasserrädern, und zwar ist bei den Raddampfern an jeder Seite des Schiffes auf einer quer liegenden Achse ein Schaufelrad befestigt, während

Fig. 56.



bei den Schraubendampfern eine mit mehreren Flügeln versehene Schraube hinten unter dem Schiffe (s, Fig. 57) auf einer Längsachse befestigt ist. (Die Flügel von

Fig. 57.



Schiffsschrauben, wie sie gegenwärtig gebaut werden, stellen Teile von Schraubenwindungen dar.) Durch Dampfkraft in Bewegung gesetzt, werfen beide, die Räder sowohl als die Schraube, das Wasser nach hinten, sodafs das Schiff durch Rückwirkung vorwärts getrieben wird.

Übungsstoff. 1. Wie läfst sich am leichtesten entdecken, ob ein Fafs undicht ist? — 2. Inwiefern ist die Lage der undichten Stellen hierbei von Einflufs? (Leck eines Schiffes.) — 3. Warum werden Luftblasen beim Aufsteigen im W. immer gröfser? — 4. Welchen Einflufs müfste es auf die Gröfse eines hohlen Gummiballes ausüben, wenn man ihn sehr tief in W. eintauchte? — 5. Warum ist es vorteilhafter, das W. in ein Reaktionsrad von unten statt von oben eintreten zu lassen? — 6. Welche Lage nehmen nach Fig. 54 die Leitschaufeln der Turbinen gegen die Radschaufeln ein, u. w.? — 7. Inwiefern sind die Ursachen der Drehung bei den unter- und oberschlägigen Wasserrädern verschieden? — 8. Bei oberschlägigen Wasserrädern werden Kastenschaufeln statt flacher Schaufeln angewandt; w.? — 9. Warum kann bei einem unterschlägigen Rade das W. hinter dem Rade nicht dieselbe Geschw. haben wie vor demselben? — 10. Inwiefern läfst sich aus der Abnahme der Geschw. schliefsen, ob die Wasserkraft mehr oder weniger ausgenutzt ist? — 11. Die Wasserräder der in Gebirgsthälern angelegten und durch das W. der Gebirgsbäche getriebenen Schneidemühlen sind stets oberschlägig; warum wohl? — 12. Müssen die Räder von Dampfschiffen flache Schaufeln oder Kastenschaufeln besitzen, u. w.? — 13. Mufs die Schiffsschraube mit der vorderen oder hinteren Fläche ihrer Windungen einen Druck gegen das W. ausüben a. beim Vorwärts-, b. beim Rückwärtsfahren?

§ 17. Das specifische Gewicht der festen und flüssigen Körper.*) Vergleichen wir die Körper miteinander hinsichtlich der Gröfse des senkrechten Druckes, welchen gleiche Raumteile vermöge der Schwere auf ihre Unterlage ausüben, so geben sich schon ohne Anwendung einer Wage auffällige Unterschiede zu erkennen. (Beispiele: Blei und Kork, Quecksilber und Wasser.) Nach genauen Wägungen ist das Gewicht von 1 ccm Blei beinahe 50 mal so grofs als von 1 ccm Kork und über 11 mal so grofs als von 1 ccm Wasser; Quecksilber wiegt noch mehr. Es gilt überhaupt der Satz:

Bei gleichem Rauminhalte haben die Körper je nach der Beschaffenheit des Stoffes, aus welchem sie bestehen, ganz verschiedene, aber bestimmte Gewichte, welche den Stoffen eigentümlich sind.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 83.

Das einem Körper eigentümliche Gewicht, d. h. das Gewicht der in 1 ccm enthaltenen Masse in Grammen wird sein **specifisches Gewicht** *(Eigengewicht) genannt.*

Da 1 ccm Wasser 1 g wiegt, so kann man auch sagen: *Das spec. Gewicht eines Körpers ist die Zahl, welche angiebt, wievielmal so grofs das absolute Gewicht des Körpers ist als das eines gleichen Raumteiles Wasser.*

a. Spec. Gewicht einiger festen Körper.

Platin, gemünzt	21,7	Eisen, gegossen	7,2	Schwefel	2,00
Gold, „	19,3	Zinn, „	7,3	Wachs, ungefähr	0,97
Blei, gegossen	11,4	Zink, gewalzt	7,2	Kautschuk	0,93
Silber, gehämmert	10,5	Schwerspat	4,4	Eis	0,92
Kupfer, „	8,9	Marmor	2,84	Eichenholz, trocken	1,17
Messing, gegossen	8,4	Quarz	2,65	Buchenholz, „	0,60
Nickel, „	8,3	Fensterglas	2,64	Pappelholz, „	0,36
Eisen, geschmiedet	7,8	Kochsalz	2,10	Kork	0,24

b. Spec. Gewicht einiger Flüssigkeiten.

Wasser	1,00	Salzsäure	1,21	Leinöl	0,95
Quecksilber	13,6	Milch, ungefähr	1,03	Petroleum	0,89
Schwefelsäure, konz.	1,85	Seewasser	1,03	Weingeist	0,79

In einer Flüssigkeit sinken alle diejenigen Körper unter, deren spec. Gewicht gröfser ist als das der Flüssigkeit; diejenigen, deren spec. Gewicht kleiner ist, schwimmen auf derselben und steigen, wenn sie untergetaucht und dann sich selbst überlassen werden, darin auf. Vergleiche in dieser Beziehung einige der angeführten Körper mit Wasser und berücksichtige die eigene Erfahrung.

Übungsstoff. 1. Wv. wiegt a. 1 ccm, b. 1 cdm der in der Tabelle angegebenen K.? — 2. Ein Gefäfs enthalte W., ein anderes die gleiche Raummenge Qu. Welche auffällige Ersch. wird sich beim Aufheben der Gefäfse zeigen? — 3. Inwiefern hat man bei der Wahl der Gefäfse zur Aufbewahrung gröfserer Mengen Qu. auf das hohe spec. Gew. desselben Rücksicht zu nehmen? — 4. Nenne K., welche a. in Qu. untersinken, b. auf Qu. schwimmen. — 5. Nenne nichtmetallische K., welche in Weingeist untersinken, in W. dagegen nicht. — 6. Ferner solche, die auf beiden Flgkn. schwimmen. — 7. Eine U förmig gebogene Röhre enthalte in dem einen Schenkel Qu., im andern W. In welchem Schenkel wird die Flgk. am höchsten stehen, u. w.? — 8. Ein Stück Blei wiege 11,4 kg; wv. W. wird durch dasselbe beim Untertauchen verdrängt? — 9. Wv. W. wird von 1 kg Blei, Kupfer, Schmiedeeisen oder Marmor beim Untertauchen verdrängt? — 10. Wv. aber von 1 kg Wachs, Kautschuk, Eis oder Kork, wenn diese K. untergetaucht werden? — 11. Wie erklärt es sich, dafs Schmiedeeisen ein höheres spec. Gew. hat als Gufseisen? — 12. Welchen Einflufs übt somit nach der Tabelle die Bearbeitung der Metalle auf das spec. Gew. aus? Erkl.! — 13. Ordne die in der Tabelle angeführten festen K. nach ihrem spec. Gew. in Gruppen!

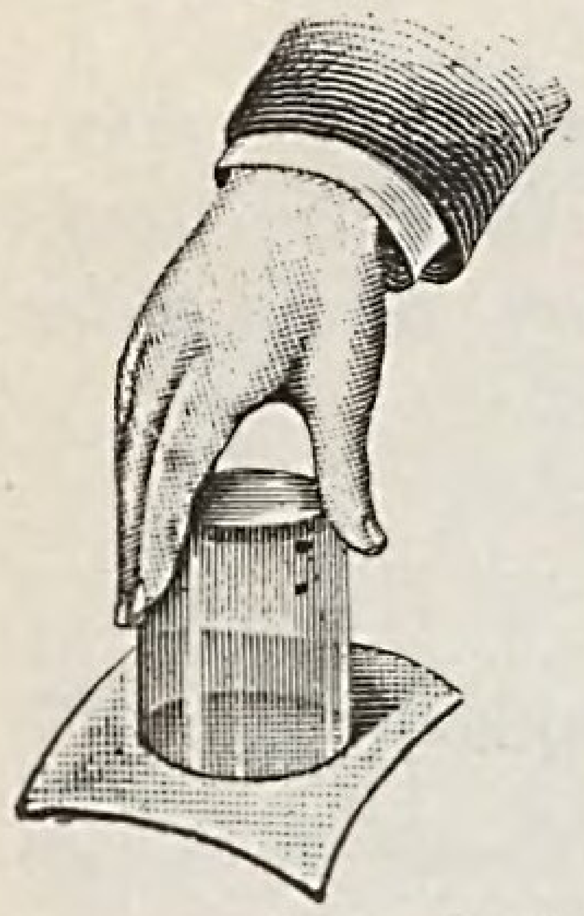
C. Von den luftförmigen Körpern.

§ 18. a. Allseitiger Druck der Luft.*) Stechheber. Da die Luft wie alle Körper der Erde schwer ist und mit den Flüssigkeiten die Eigenschaft gemein hat, dafs ihre Teile sehr leicht verschiebbar sind, so läfst sich erwarten, dafs ein in der Luft befindlicher Körper

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 84.

durch die ihn umgebende Luft von allen Seiten einen Druck erleidet, wie ein in Wasser untergetauchter Körper einem allseitigen Drucke des Wassers ausgesetzt ist. Dies wird durch gewisse Erscheinungen bestätigt.

Fig. 58.



Versuch a. Aus einem ganz mit Wasser gefüllten und darauf mit einem Blatte Papier überdeckten Trinkglase (Fig. 58) fliefst das Wasser nicht aus, wenn man das Glas umkehrt und das Blatt während des Umkehrens mit der flachen Hand festhält oder mit einem Teller bedeckt.

Noch auffälliger ist die Erscheinung, dafs eine Flüssigkeit aus einem Gefäfse ohne Boden nicht ausfliefst, wenn das Gefäfs oben verschlossen und die untere Mündung desselben ziemlich eng ist. Diese Erscheinung entsteht beim Gebrauche des **Stechhebers,** einem *Gefäfse aus Glas oder Blech, welches an seinem oberen Ende zum bequemen Verschlufs halsförmig verengt ist und unten in eine Spitze ausläuft* (Fig. 59). Man bedient sich desselben im täglichen Leben, um aus Fässern eine Probe der darin enthaltenen Flüssigkeit durch den Spund herauszuheben.

Fig. 59.

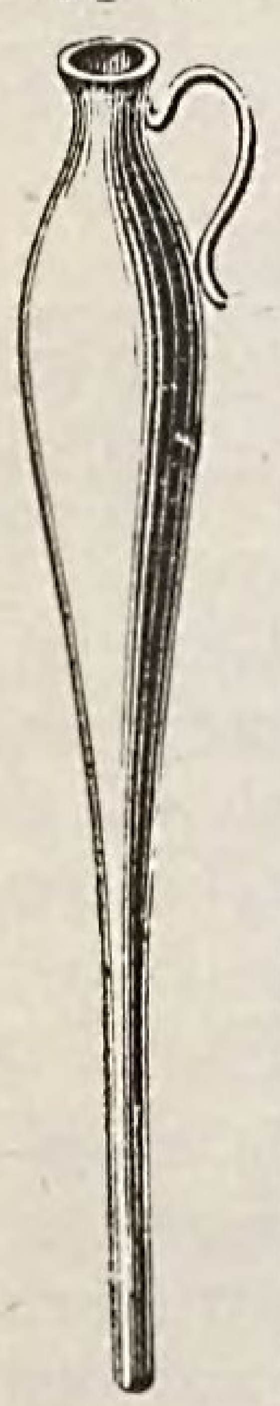
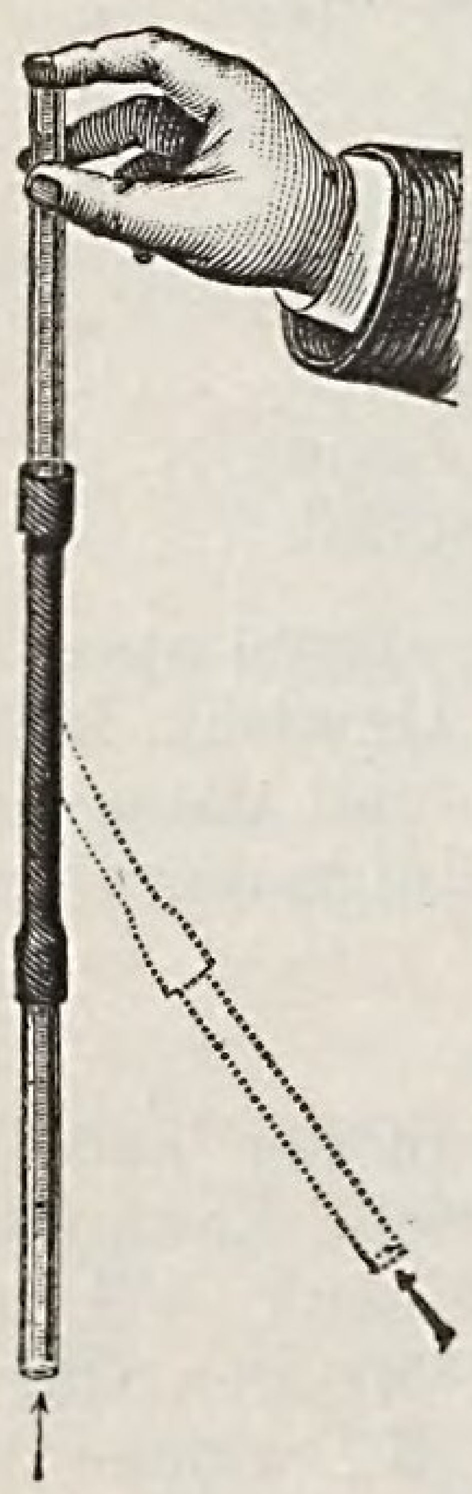


Fig. 60.



Versuch b. Wird ein Stechheber in Wasser getaucht, so bleibt er gefüllt, wenn man beim Herausziehen des Hebers die obere Mündung desselben mit dem Daumen verschliefst. Das Wasser fliefst aus, sobald man den Daumen entfernt. — Wie läfst sich mit einem Stechheber, an dessen unterem Ende ein Gummischlauch befestigt ist, oder mit 2 durch einen Gummischlauch verbundenen Glasröhren (Fig. 60) nachweisen, dafs die Luft nach allen Richtungen einen Druck ausübt?

Stechheber, welche aus geraden, in ihrer Mitte kugelig oder cylindrisch erweiterten Glasröhren bestehen, werden **Pipetten** genannt. Zum Füllen des erweiterten Teiles solcher Röhren wird durch Ansaugen mit dem Munde Luft aus denselben entfernt.

Die Beobachtungen lehren:

Die Luft übt vermöge ihrer Schwere nach allen Seiten einen gleichstarken Druck aus.

Dafs die Luft einen Druck ausübt, weifs man erst seit der Mitte des 17. Jahrhunderts; bis dahin suchte man die auf dem Luftdrucke beruhenden Erscheinungen in anderer Weise zu erklären. — Wenn vom Luftdrucke schlechthin die Rede ist, so ist stets der Druck der Atmosphäre[1]), d. h. der die Erde umgebenden Lufthülle, gemeint.

Auf dem Drucke der Luft beruhen aufser den angeführten noch zahlreiche andere bekannte Erscheinungen: Spärliches Ausfliefsen beim Abzapfen von Wein, Bier u. dgl., wenn der Spund der Fässer nicht geöffnet ist, beim Ausgiefsen von Kaffee, Thee u. dgl., wenn der (nicht durchbohrte)

[1]) ατμός (atmos), Dunst; σφαίρα (sphaira), Kugel.

Deckel den Kannen dicht anliegt, oder beim Öffnen eines rohen Eies, wenn nur an einem Ende eine kleine Öffnung hergestellt ist, ferner beim Umkehren der Ölpipetten z. B. für Nähmaschinen, wenn kein Druck auf den Boden ausgeübt wird; Aufsteigen des Tabaksrauches in Pfeifen beim Gebrauche derselben u. s. w.

b. Spannkraft eingeschlossener Luft.*) Da luftförmige Körper sich nach allen Richtungen auszudehnen streben (§ 1), so erleiden die Wände der Gefäfse, in denen ein luftförmiger Körper enthalten ist, aufser dem Drucke, welchen die freie Luft von aufsen auf sie ausübt, auch von innen überall einen Druck. Dies giebt sich offenbar am leichtesten zu erkennen, wenn die Wand des Gefäfses dem Drucke nachgiebt. So dehnen sich z. B. Gummiblasen (Luftballons der Kinder) nach allen Seiten aus, wenn sie mit Leuchtgas gefüllt werden, desgl. Seifenblasen, wenn man mehr Luft in sie hineinbläst, oder die Luft aus ihrer Umgebung entfernt wird (Ansaugen einer Flasche, in welcher derartige Blasen enthalten sind). Bekannte Erscheinungen, wie das Fortfliegen des Pfropfens einer Knallbüchse beim schnellen Hineinschieben des Stempels, sowie das Zurückschnellen desselben, welches jedesmal eintritt, wenn der Stempel rasch aufgezogen und dann losgelassen wird, lehren ferner, dafs dieser Druck von der Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft abhängt, d. h. zunimmt, wenn der Raum, den die Luft ausfüllt, verkleinert, hingegen abnimmt, wenn er vergröfsert wird.

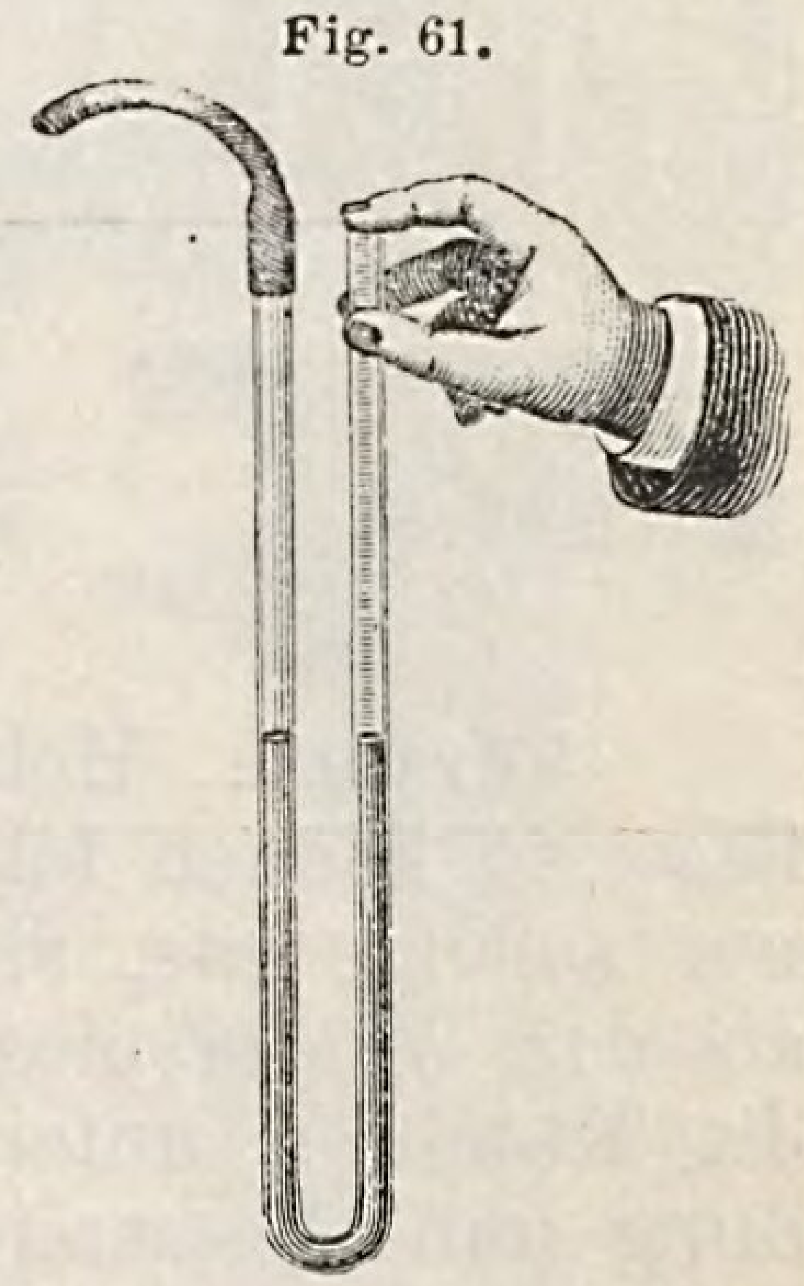
Eingeschlossene luftförmige Körper üben infolge ihrer Ausdehnsamkeit einen allseitigen Druck aus; derselbe nimmt mit der Verkleinerung des Raumes zu, mit der Vergröfserung desselben ab.

Der Druck, welchen luftförmige Körper infolge ihrer Ausdehnsamkeit ausüben, wird **Spannung** *genannt; die Kraft, mit der sie sich auszudehnen streben, bezeichnet man als* **Expansivkraft** [1]) *oder* **Spannkraft.**

Strömt ein luftförmiger Körper aus einem beweglichen Gefäfse mit genügender Kraft aus, so wird dieses durch Rückwirkung (Reaktionsdruck) nach rückwärts getrieben (vgl. § 16). Raketen z. B. steigen, da die Pulvergase heftig nach unten ausströmen, durch die Rückwirkung mit grofser Geschwindigkeit nach oben.

Übungsstoff. 1. Erkläre den Gebrauch der Pipetten. — 2. Desgl. die Ersch. des folg. Versuches: Füllt man eine ziemlich lange, U förmig gebogene Glasröhre (Fig. 61) etwa zur Hälfte mit gefärbtem W. und entfernt dann aus dem einen Schenkel durch Ansaugen einen Teil der Luft, so sinkt das W. im anderen, verschlossenen Schenkel; bläst man dagegen kräftig Luft hinein, so steigt es in demselben. Wird nach dem Ansaugen wie nach dem Hineinblasen der bis dahin mit dem Finger verschlossene Schenkel geöffnet, so findet im ersteren Falle ein noch stärkeres Sinken, im letzteren ein noch stärkeres Steigen der Flgk. statt. — 3. Wie ist es zu erklären, a. dafs eine in W. getauchte Handspritze beim Zurückziehen des Stempels sich mit W. füllt, b. dafs aus einer Knallbüchse der Pfropfen beim Hineinschieben des Stempels fortfliegt? — 4. Wie mufs man verfahren, wenn der

Fig. 61.



*) Vgl. II. Lehrstufe, § 85.

[1]) expando, dehne aus.

Inhalt eines Eies aus einer kleinen Öffnung der Schale ausfließen soll? — 5. Inwiefern muß beim Abzapfen von Bier, Wein u. dgl. auf den Druck der Luft Rücksicht genommen werden? — 6. Kaffee- und Theekannen haben im Deckel gewöhnlich ein kleines Loch; warum? — 7. An Deckeln, in denen ein solches Loch fehlt, ist oft ein leises Klappern hörbar, während die Flgk. ausfließt. Erkl.! — 8. Wie erklärt sich das Festsaugen eines hohlen Federhalters, Fingerhutes oder ähnlichen Gegenstandes an der Lippe? — 9. Warum fließt aus einer enghalsigen, ganz mit W. gefüllten Flasche beim Umkehren derselben nichts aus? — 10. Warum fließt das W. aus einem umgekehrt gehaltenen Trinkglase nicht aus, wenn man dessen Öffnung mit Gaze überbindet? — 11. Große Geldstücke kann man an eine glatte Wand oder dergl. schlagen, sodaß sie hängen bleiben. Erkläre dies! — 12. Ein an den Rand eines Tisches gelegtes Blatt Papier, unter welches man etwa ein Lineal so gelegt hat, daß dieses zum Teil über den Rand des Tisches hervorragt, läßt sich durch einen kräftigen Schlag auf den vorstehenden Teil des Lineals nicht heben. Grund! — 13. Geschütze erleiden beim Abfeuern einen Rückstoß. Erkl.! — 14. Wodurch läßt sich die Spannung eines Bogens vergrößern, und wodurch die Spannung der Luft? — 15. Woraus läßt sich schließen, daß die in manchen Getränken enthaltene Kohlensäure, die Wasserdämpfe in den Cylindern der Lokomotiven, sowie die im Rohre der Geschütze wirkenden Pulvergase eine hohe Spannung haben?

Apparate, welche auf dem Luftdrucke und der Spannkraft eingeschlossener Luft beruhen.

§ 19. Heber. Zerstäubungsapparat. Heber dienen im allgemeinen dazu, Flüssigkeiten aus einem Gefäße in ein anderes überzufüllen, ohne daß das volle Gefäß dabei aus seiner Stelle gebracht zu werden braucht. Je nach der Art ihrer Anwendung und Einrichtung unterscheidet man Stechheber (§ 18) und Saugheber.

Der Saugheber (Fig. 62) besteht aus einer *knieförmig gebogenen und überall gleichweiten Röhre,* welche mit ihrem kürzeren Schenkel in die Flüssigkeit eingetaucht und darauf durch Saugen mit dem Munde luftleer gemacht wird. Die Flüssigkeit steigt dann im eingetauchten Schenkel hinauf und fließt durch den äußeren Schenkel aus.

Fig. 62.

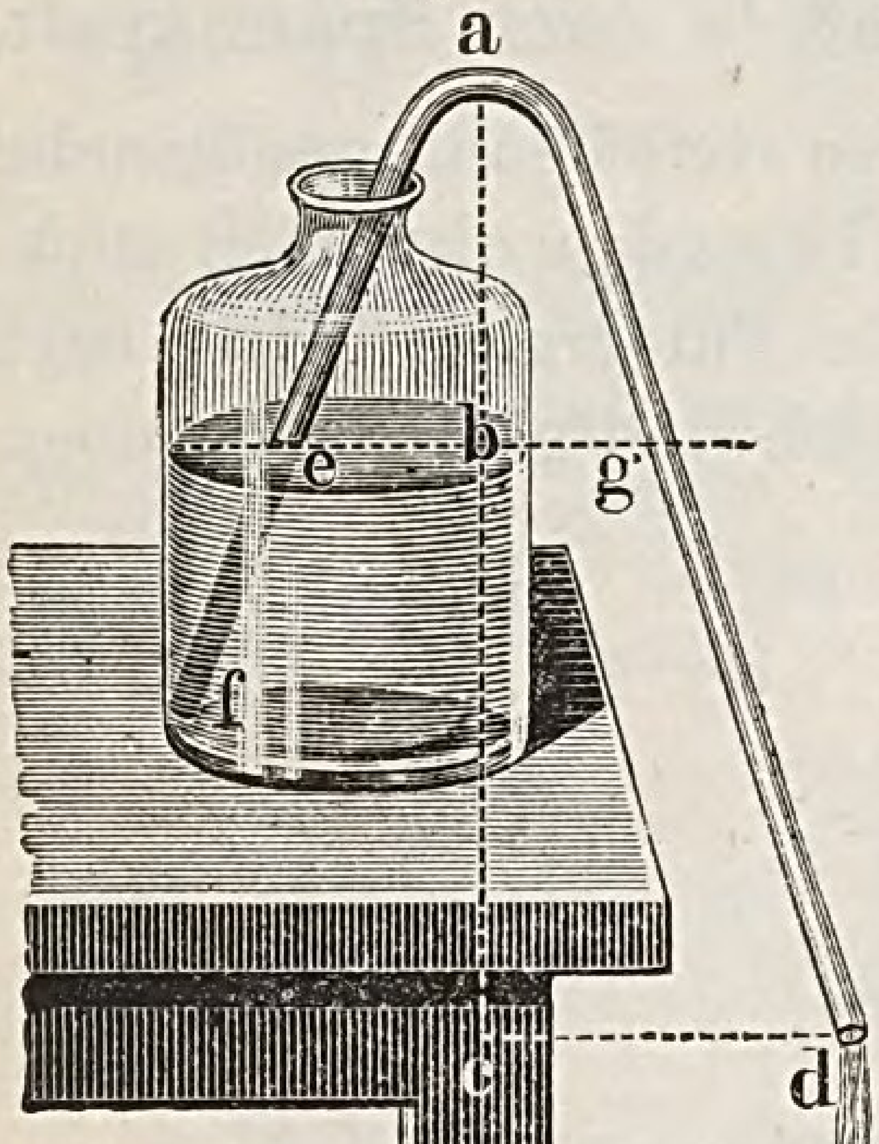
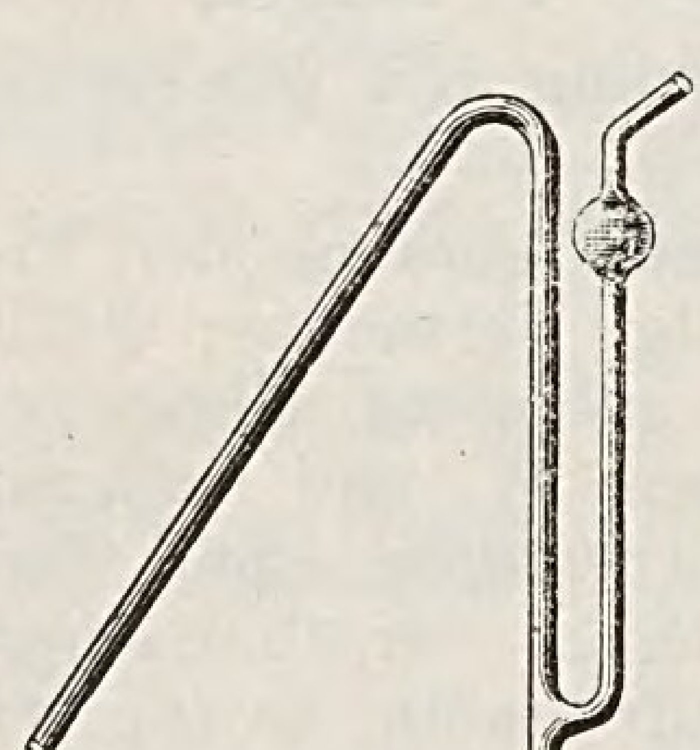


Fig. 63.

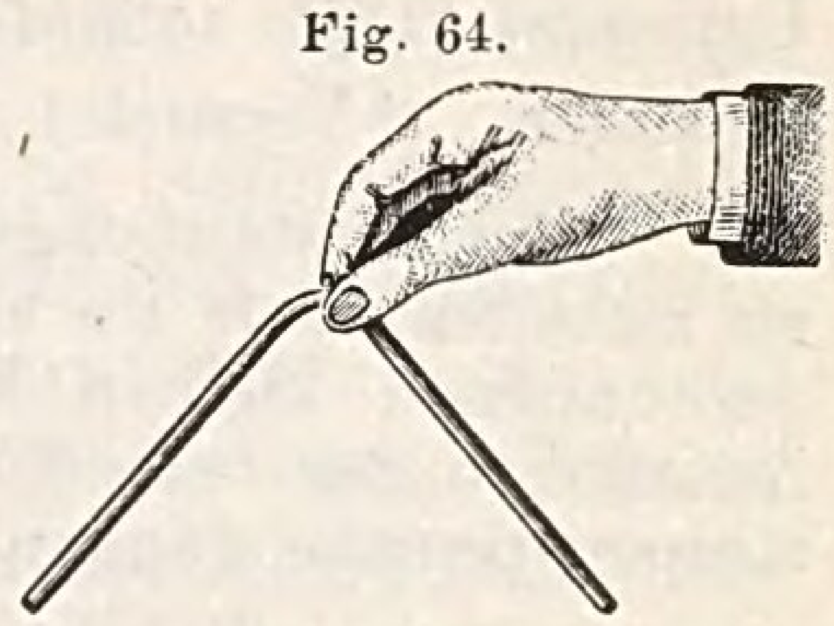


Bei ätzenden und ähnlichen, der Gesundheit schädlichen Flüssigkeiten wendet man Saugheber an, welche mit einem Ansatzrohre versehen sind (sogen. Giftheber, Fig. 63). Während des Ansaugens wird bei denselben die Ausflußmündung geschlossen.

Versuch. Hebt man mit einem Saugheber Wasser aus einem Gefäße, so können folgende Erscheinungen eintreten: **1.** Das Wasser fließt nur solange aus, als die Mündung des äußeren Schenkels tiefer liegt als der Wasserspiegel im Gefäße, und zwar um so kräftiger, je tiefer die Mündung unter dem Wasserspiegel sich befindet. **2.** Liegen Mündung und Wasserspiegel gleichhoch, so findet ein Ausfließen nicht mehr statt. **3.** Sobald die Mündung des äußeren Schenkels höher liegt als der Wasserspiegel, fließt das Wasser wieder zurück.

Saugheber, welche aus einer ziemlich engen Röhre bestehen (Fig. 64), kann man, wenn die Mündungen in gleicher Höhe liegen, ganz aus dem Wasser herausheben, ohne daſs ein Ausflieſsen erfolgt. Warum?

Fig. 64.

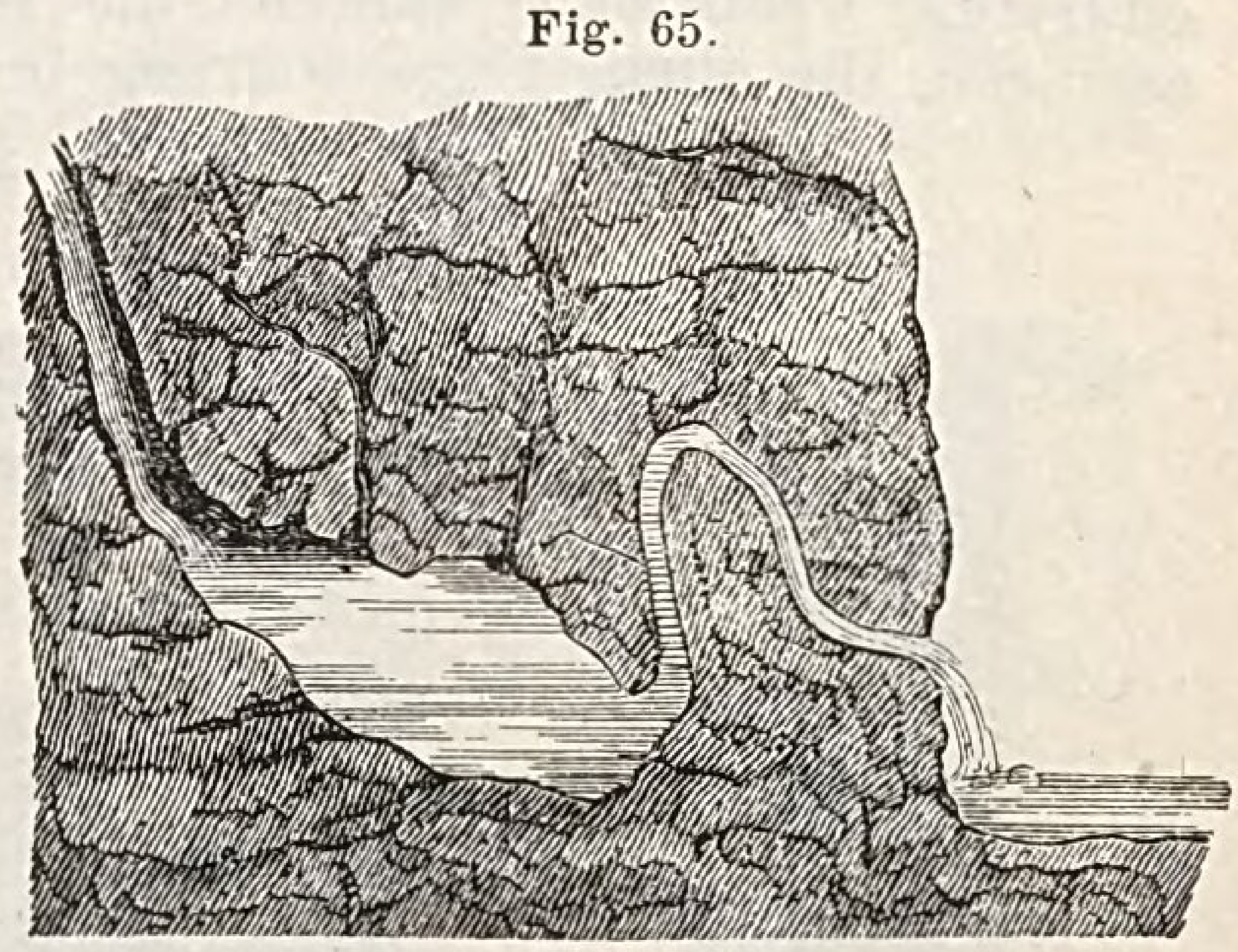


Erklärung: Wenn der Saugheber mit Flüssigkeit gefüllt ist, so hat diese in jedem der beiden Schenkel das Bestreben, wieder auszuflieſsen. Es wirken somit beiderseits zwei Kräfte einander entgegen, nämlich der Druck der Flüssigkeit und der Luftdruck. Letzterer ist an beiden Stellen gleichgroſs, ersterer dagegen je nach der Lage der Mündung des äuſseren Schenkels gleich oder verschieden.

a. Liegt die Mündung des äuſseren Schenkels mit dem Flüssigkeitsspiegel in gleicher Höhe, so sind die senkrechten Abstände beider vom Knie (dem höchsten Punkte a, Fig. 63) des Hebers einander gleich. In beiden Schenkeln drückt die Flüssigkeit gleichstark nach unten. Dadurch wird die Wirkung des Luftdruckes beiderseits um gleichviel verkleinert. Der Überdruck der Luft ist also an beiden Stellen gleich; eine Bewegung der Flüssigkeit kann nicht eintreten.

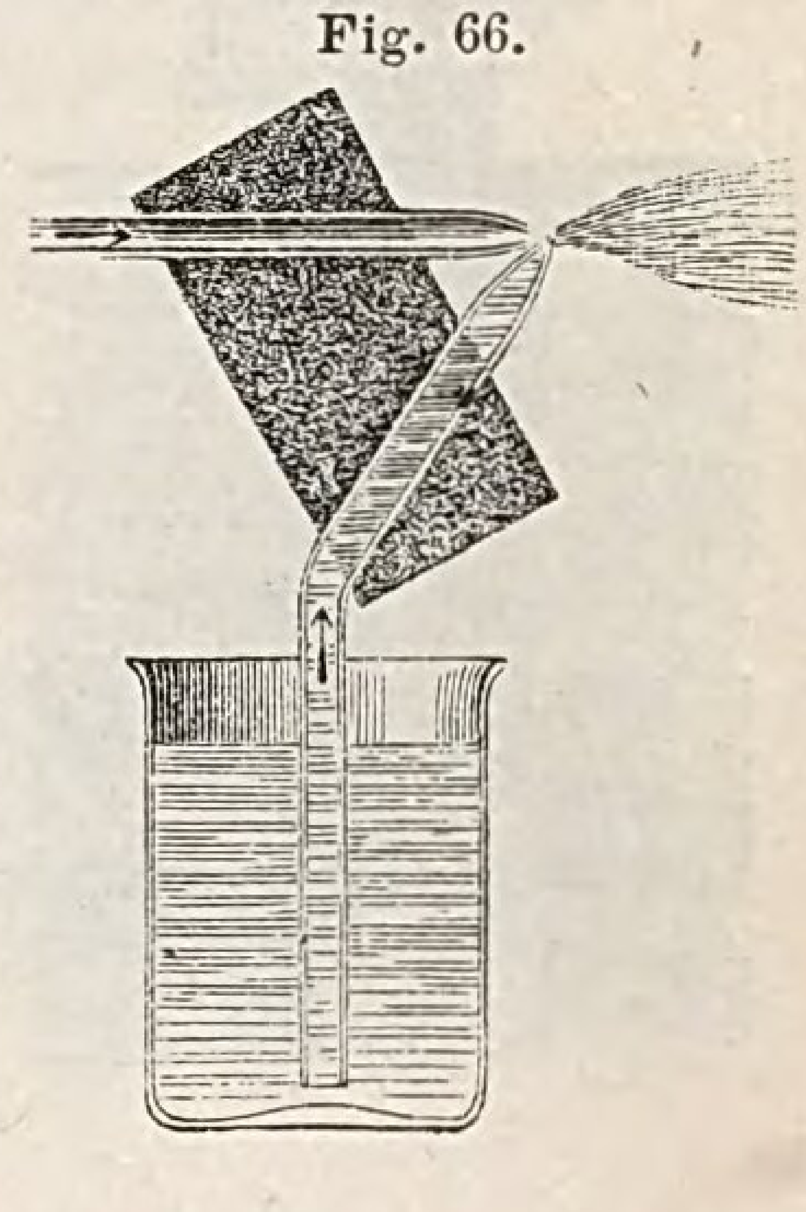
b. Liegt die Mündung des äuſseren Schenkels tiefer oder höher als der Wasserspiegel (1 und 3), so sind die senkrechten Abstände derselben vom Knie des Hebers ungleich. Die Flüssigkeit wird daher nach derjenigen Seite hingetrieben, wo der Überdruck der Luft am kleinsten ist, also nach der Mündung des äuſseren Schenkels, wenn diese tiefer, hingegen nach dem Gefäſs hin, wenn sie höher liegt als der Flüssigkeitsspiegel. — Das Ausflieſsen muſs offenbar um so schneller erfolgen, je tiefer die Ausfluſsmündung unter dem Flüssigkeitsspiegel liegt, denn um so kleiner ist an derselben der hemmende Überdruck der Luft.

Fig. 65.



Durch die Wirkung heberförmiger Abfluſskanäle bei unterirdischen Wasserbehältern sucht man auch die Thätigkeit der sogen. intermittierenden, d. h. mit Unterbrechung flieſsenden Quellen zu erklären (Fig. 65). Es ist indes wahrscheinlich, daſs solche Quellen auch durch andere Ursachen in Thätigkeit gesetzt werden können, vor allem durch den Druck der in den unterirdischen Hohlräumen eingeschlossenen Gase (Kohlensäure).

Fig. 66.



Zerstäubungsapparat. Bei den sogen. Zerstäubungsapparaten, welche zum Benetzen von Zimmerpflanzen, zum Zerstäuben wohlriechender Flüssigkeiten u. s. w. gebraucht werden, kommt der Druck der äuſseren Luft dadurch zur Wirkung, daſs man über die Mündung einer kurzen, aufrechten Röhre, welche in die Flüssigkeit eingetaucht wird, einen kräftigen Strom von Luft oder Wasserdämpfen hinwegtreibt (Fig. 66).

Indem letzterer aus seiner Umgebung, also auch aus der eingetauchten Röhre, Luft mit fortreifst, steigt die Flüssigkeit in der Röhre durch den Überdruck der äufseren Luft und fliegt, sobald sie vom Luft- oder Dampfstrome erfafst wird, in Staub auseinander. (* Versuch.)

Bei Zerstäubungsapparaten, welche dazu dienen, gewisse Arzneimittel so fein zu zerteilen, dafs sie eingeatmet werden können, erzeugt man mittelst eines damit verbundenen kleinen Kochapparates einen Strom heifser Wasserdämpfe, die das Zerstäuben der betreffenden Flüssigkeit bewirken. Solche Apparate werden **Inhalationsapparate** genannt.

Übungsstoff. 1. Worin stimmen Stechheber und Saugheber überein, und wodurch unterscheiden sie sich voneinander hinsichtlich ihrer Gestalt und ihres Gebrauches? — 2. Welchen Zweck hat die bauchige Erweiterung des Stechhebers? — 3. Was wird eintreten, wenn man einen Stehheber, während die darin enthaltene Flgk. ausfliefst, am oberen Ende verschliefst, u. w.? — 4. In einem nur etwa halb gefüllten Stechheber sinkt das W. in der Röhre merklich, indem man den Heber aus der Flgk. zieht. (Bei Qu. schon in einer einfachen Glasröhre deutlich zu erkennen.) Wie mag sich dies erklären? — 5. Mittelst eines Saughebers soll eine Flgk. aus einem Gefäfse in ein anderes gehoben werden. Welche Lage mufs hierbei der Boden des leeren Gefäfses gegen den Spiegel der Flgk. haben, u. w.? — 6. Wodurch läfst sich das Ausfliefsen der Flgk. verstärken und wodurch ganz aufheben? Erkl.! — 7. Warum mufs das untere Ende des in Fig. 63 dargestellten Hebers während des Ansaugens verschlossen werden? — 8. Welchen Zweck hat die kuglige Erweiterung an jenem Heber? — 9. Angenommen, die Höhlung in dem Felsen, Fig. 65, enthalte zunächst gar kein W.: wie hoch mufs dann bei einem Zuflufs von oben das W. darin steigen, damit ein Ausfliefsen erfolgen kann? — 10. Wie tief kann der Wasserspiegel sinken, bis das Ausfliefsen aufhört? — 11. Was wird eintreten, wenn der Wasserspiegel bis unter die Ausflufsmündung sinkt? — 12. Eine Flasche sei durch einen zweifach durchbohrten Kork luftdicht verschlossen; in der einen Durchbohrung sei eine heberförmig gebogene Röhre luftdicht befestigt. Was wird eintreten, wenn man, während die in der Flasche enthaltene Flgk. aus der Röhre ausfliefst, die offene Durchbohrung im Kork verschliefst, u. w.?

Fig. 67.

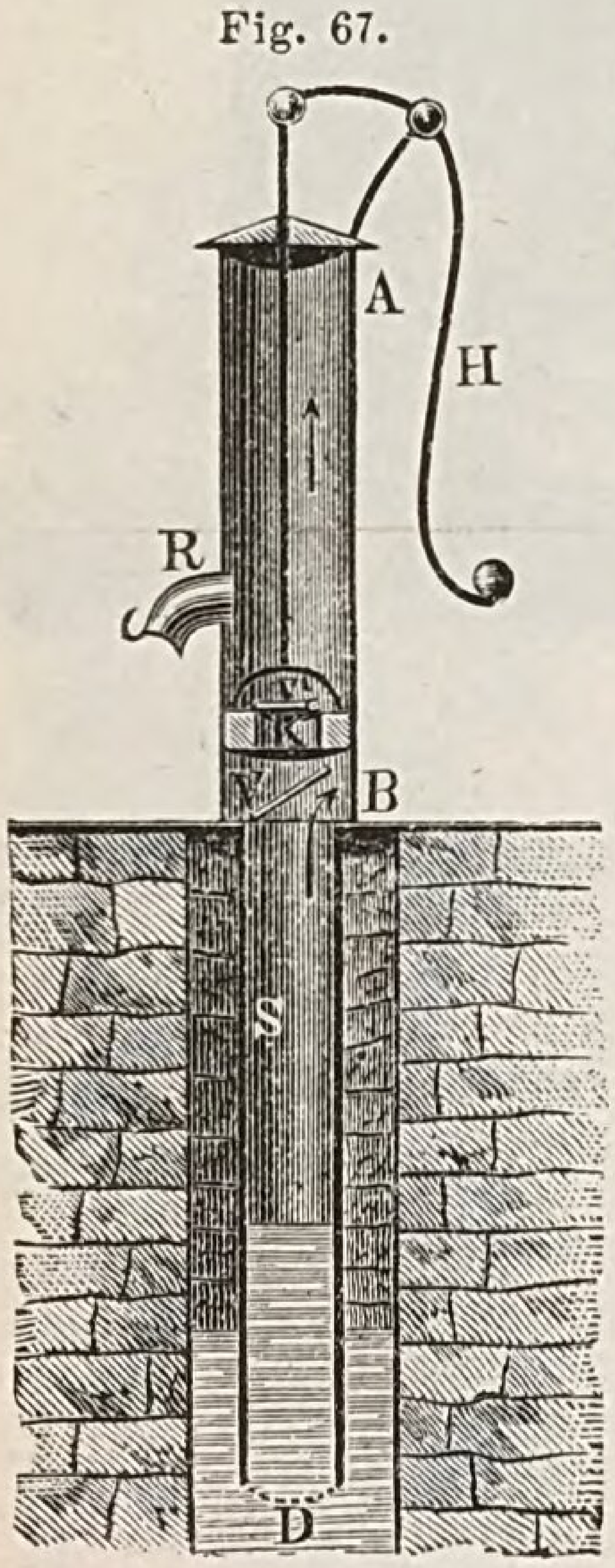
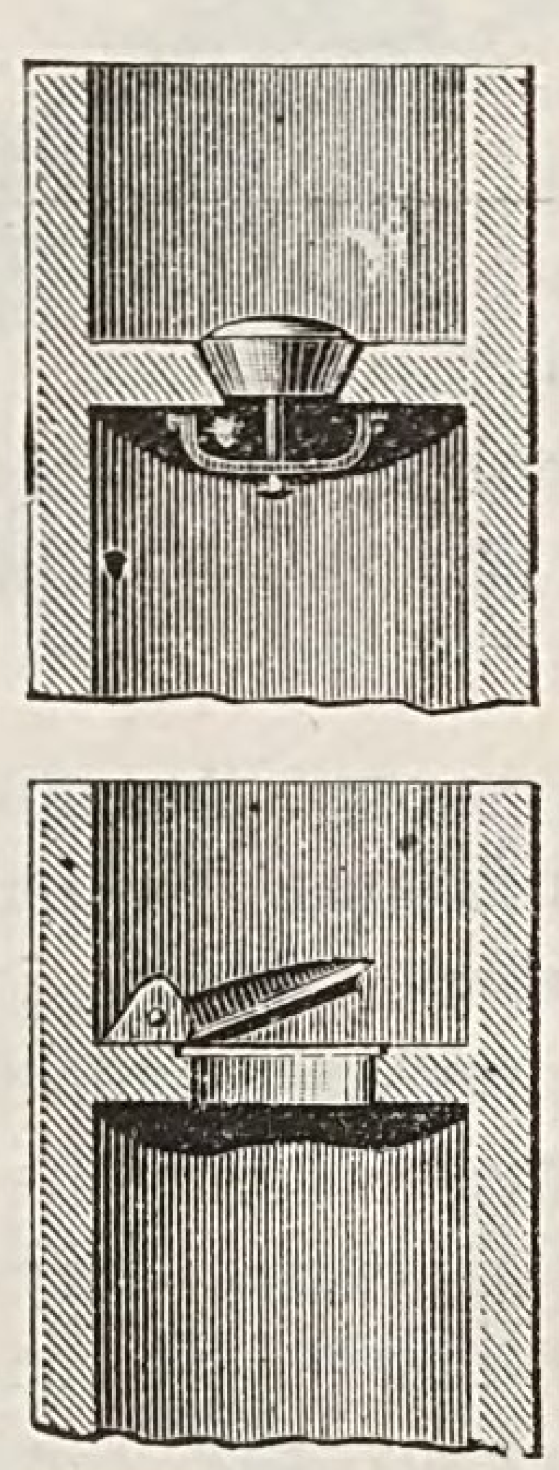


Fig. 68 u. 69.



§ 20. Saugpumpe und Saugdruckpumpe.

Beide sind Vorrichtungen, welche dazu dienen, Wasser durch Auf- und Abbewegung eines Kolbens mit Hülfe des Luftdruckes aus Brunnen u. s. w. zu fördern.

Die wesentlichen Teile einer **Saugpumpe** (Fig. 67) sind *Saugrohr*, *Stiefel* und *Kolben*. Ersteres ist eine hölzerne oder eiserne Röhre (S), welche in das Wasser des Brunnens hinabreicht und unten durch eine siebförmige Platte, oben durch ein Ventil (Bodenventil, v) verschlossen ist. Dieses besteht entweder aus einer Klappe, oder aus einem hohlen Messingkegel (Fig. 68 und 69). Auf dem Saugrohre steht der sogen. Stiefel, d. h. eine Röhre (AB), in welcher ein luftdicht anliegender, durchbohrter Kolben

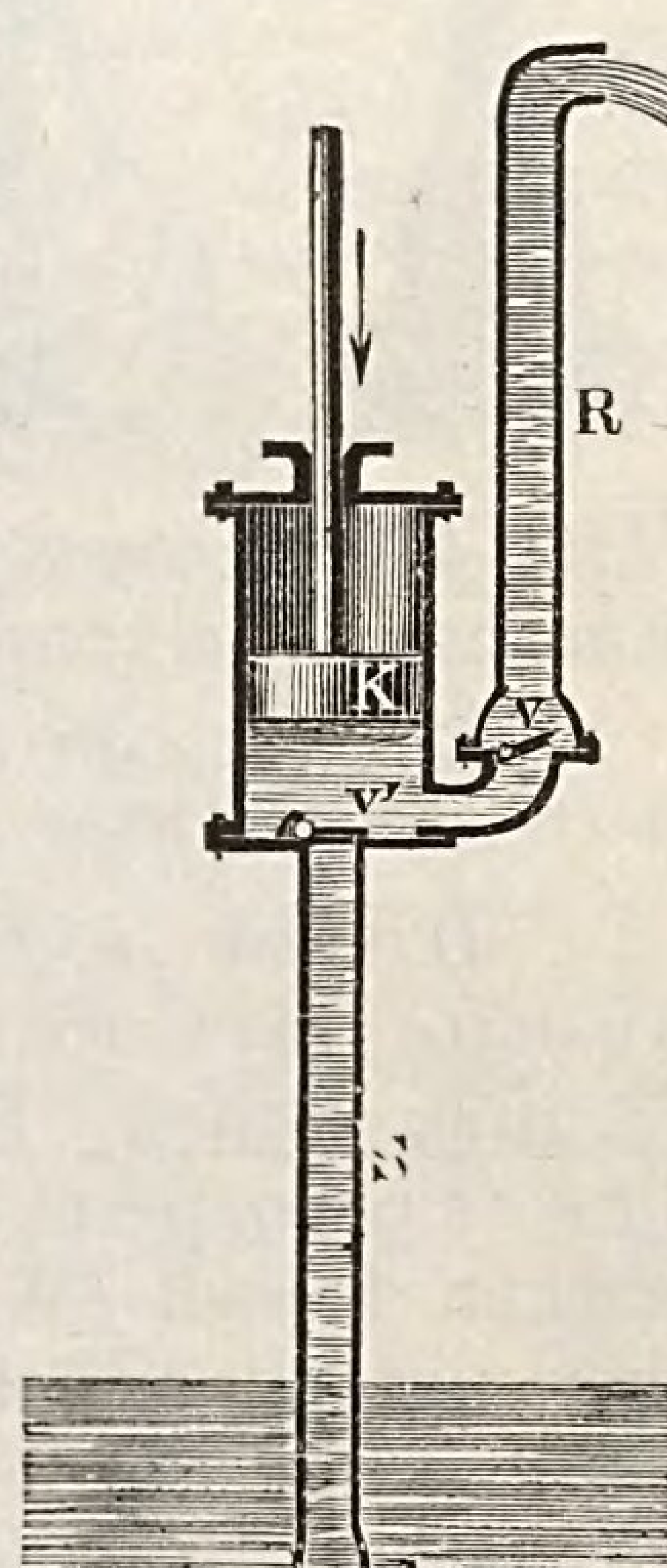
(K) auf- und abbewegt werden kann. Der Kolben enthält ebenfalls ein Ventil (Kolbenventil, v_1), das sich wie das Bodenventil nach oben öffnet. Über dem Kolben ist am Stiefel ein Ausflufsrohr (R) befestigt.

Das Öffnen und Schliefsen der Ventile erfolgt abwechselnd. Wird der Kolben hinaufgezogen, so öffnet sich das Bodenventil, und das Kolbenventil ist geschlossen; wird er hinuntergeschoben, so schliefst sich das Bodenventil, und das Kolbenventil öffnet sich. Das in den Stiefel eingedrungene Wasser tritt durch den Kolben hindurch und wird von diesem gehoben. Pumpen von dieser Einrichtung werden daher auch wohl als Saughebepumpen bezeichnet.

Zur Erklärung nehme man an, das Wasser stehe im Saugrohre anfangs so hoch wie im Brunnen. Wird dann der Kolben in die Höhe gezogen, so hebt die abgesperrte Luft vermöge ihrer Ausdehnsamkeit das Ventil ein wenig und füllt bei jeder Kolbenstellung den vergröfserten Raum aus. Dadurch nimmt die Spannung der abgesperrten Luft ab; mithin kann durch den Überdruck der äufseren Luft das Wasser im Saugrohre gehoben werden. Da das gehobene Wasser einen Gegendruck ausübt, so kann das Aufsteigen des Wassers sich nur solange fortsetzen, als überhaupt noch ein Überdruck von aufsen vorhanden ist.

Erfahrungsmäfsig darf sich das Bodenventil höchstens 6—7,5 m über dem Wasserspiegel im Brunnen befinden. Bei tieferen Brunnen mufs der Stiefel entsprechend länger gemacht werden und sein unteres Ende mit in den Brunnenraum hinabreichen, da sonst der Luftdruck nicht ausreichen würde, das Wasser im Saugrohre bis über das Bodenventil zu heben. Diese Beobachtung gab im Jahre 1643 Veranlassung zur Entdeckung des Luftdruckes durch Torricelli (spr. Torritschelli),*) einen Schüler des berühmten italienischen Naturforschers Galilei. Vorher hatte man das Aufsteigen des Wassers in den Saugpumpen durch den „Abscheu der Natur vor dem leeren Raume“ (horror vacui) erklärt. — Sollen Saughebepumpen dazu verwendet werden, Wasser sehr hoch, z. B. in die obersten Stockwerke der Häuser, zu heben, so wird der Stiefel oben dicht verschlossen und an demselben statt des kurzen Ausflufsrohres seitlich ein Steigrohr angebracht (siehe R, Fig. 75), oder man wendet eine Saugdruckpumpe an.

Fig. 70.



Die **Saugdruckpumpe** oder **Druckpumpe** (Fig. 70) enthält aufser dem *Saugrohre,* dem *Stiefel* und dem *Kolben* stets noch ein *Steigrohr* (R), d. h. ein Rohr, welches dicht über dem Bodenventil in den Stiefel mündet und das in diesen eindringende Wasser durch den Druck des Kolbens aufnimmt und weiterführt. Der Kolben der Saugdruckpumpe ist daher nicht durchbohrt. (Spiel der Ventile?)

Druckpumpen werden nicht nur benutzt, um Wasser nach hoch gelegenen Stellen zu fördern, sondern überhaupt in allen denjenigen Fällen, in denen der Fortbewegung des Wassers im Steigrohre ein nicht unbedeutender Druck entgegenwirkt, also z. B. auch zum Speisen der Windkessel von Feuerspritzen und der Dampfkessel von Dampfmaschinen. Bei ersteren mufs der Gegendruck der eingeschlossenen Luft, bei letzteren der Druck der Dämpfe überwunden werden. Druck-

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 84a.

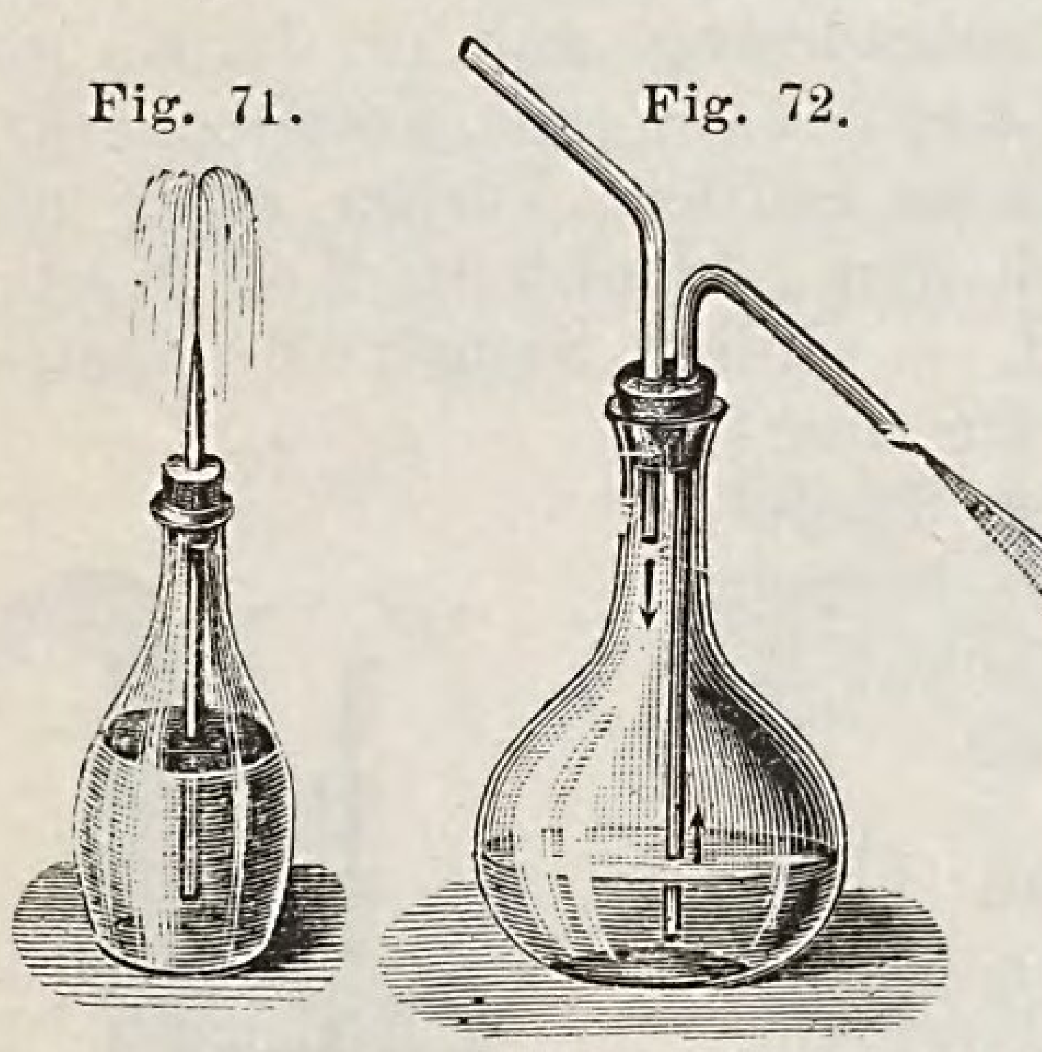
pumpen lassen sich daher auch anwenden, um Dampfkessel und Wasserleitungsröhren auf ihre Wandstärke zu prüfen.

Bei der einfachsten Einrichtung einer Druckpumpe steht der Stiefel mit seinem unteren Ende unmittelbar im Wasser (Spritzbüchse der Kinder).

Übungsstoff. 1. Worin stimmt die Einrichtung einer Saugpumpe mit der einer Druckpumpe überein, und wodurch unterscheiden sie sich voneinander? — 2. Welchen Zweck hat die siebförmige Platte unter dem Saugrohre? — 3. Warum müssen die Kolben einer Pumpe möglichst dicht schliefsen? — 4. Kegelventile (Fig. 68) werden hohl gemacht; w.? — 5. Welchen mech. V. und welchen mech. N. hat die Anwendung eines Pumpenschwengels? — 6. In trockenen Sommern werden Pumpen bisweilen „lahm“. Erkl.! — 7. Welches Mittel pflegt man anzuwenden, um solche Pumpen wieder brauchbar zu machen? — 8. Welche von den beiden Pumpen fördert das W. nur beim Aufgange, welche auch beim Niedergange des Kolbens? — 9. Welche Pumpe erfordert daher zu ihrem Gebrauche unter sonst gleichen Verhältnissen mehr Kraft? — 10. Warum wendet man trotzdem bei geringen Höhen Saugpumpen an? — 11. Warum ist es vorteilhaft, die Stiefel der Pumpen ziemlich weit zu machen? — 12. Warum braucht das Saugrohr nicht auch so weit zu sein? — 13. Inwiefern hängt die Schnelligkeit, mit welcher das W. im Saugrohre aufsteigt, von der Weite dieses Rohres ab? — 14. Warum müssen Druckpumpen im allgemeinen dichter und stärker gearbeitet sein als Saugpumpen? — 15. Warum mufs bei einem sehr tiefen Brunnen oder Schachte der Stiefel einer Pumpe in den Brunnen- oder Schachtraum hinabreichen? — 16. Auf welche dreifache Weise läfst sich nach § 19 und 20 bewirken, dafs eine Flgk. in einer Röhre durch den Druck der äufseren Luft aufsteigt?

§ 21. Heronsball und Feuerspritze. Gebläse.

Fig. 71. Fig. 72.



Das einfachste Verfahren, eine Flüssigkeit durch den Druck eingeschlossener Luft zu heben (Fig. 71), besteht darin, dafs man die über der Flüssigkeit im Gefäfse befindliche Luft durch Hineinblasen mit dem Munde verdichtet. Zu diesem Zwecke mufs die Röhre im Gefäfse luftdicht befestigt sein, bis in die Flüssigkeit hinabreichen und oben aus dem Gefäfse hervorragen. (* Versuch.)

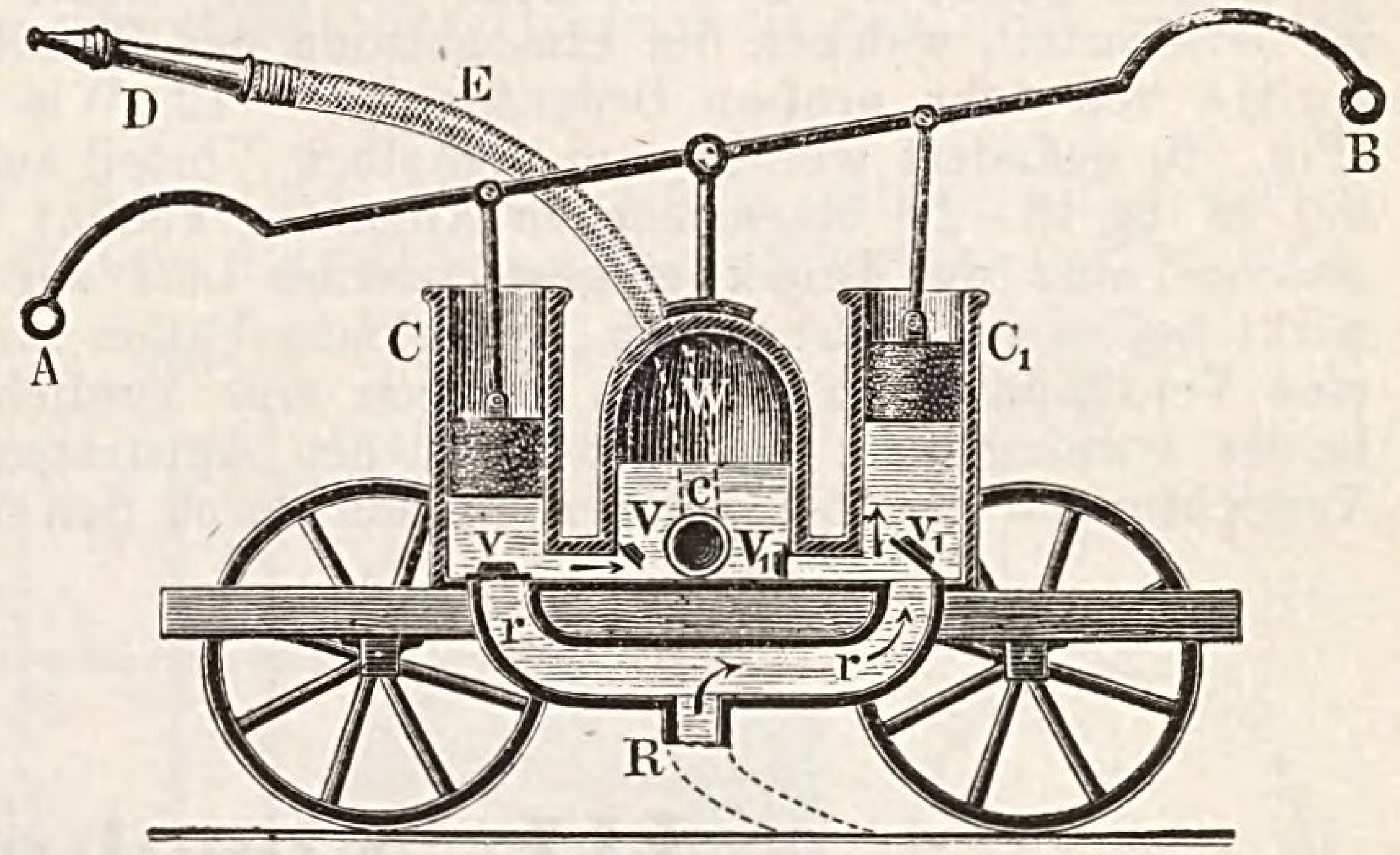
Ein teilweise mit Wasser gefülltes Gefäfs, in welchem eine luftdicht durch den Hals hindurchgehende Glasröhre bis in das Wasser hinabreicht, wird **Heronsball** *genannt.*

Fig. 72 stellt einen als Spritzflasche dienenden Heronsball dar, welcher ein besonderes Rohr zum Hineinblasen von Luft enthält.

Durch eine zweckmäfsige Verbindung der Druckpumpe mit dem Heronsballe entsteht die **Feuerspritze** (Fig. 73, folg. Seite). Bei derselben wird mittelst einer oder zweier Saugdruckpumpen (C und C_1) wiederholt Wasser in einen umgekehrten starken Kessel (Windkessel oder Heronsball, W) getrieben, welcher unten seitlich zum Anschrauben eines Schlauches (E) mit einem Rohransatze (c) versehen ist. Da die im Kessel enthaltene Luft nicht entweichen kann, so wird sie durch das eindringende Wasser verdichtet. Sie wirkt dann vermöge ihrer Spannkraft auf das Wasser zurück und prefst dieses in den Schlauch. Aus dem Mundstücke (D) desselben

strömt das Wasser während des Pumpens in ununterbrochenem Strahle aus. — Eine Feuerspritze ist somit ein *mit Windkessel und biegsamem Steigrohre versehenes Druckpumpenwerk.*

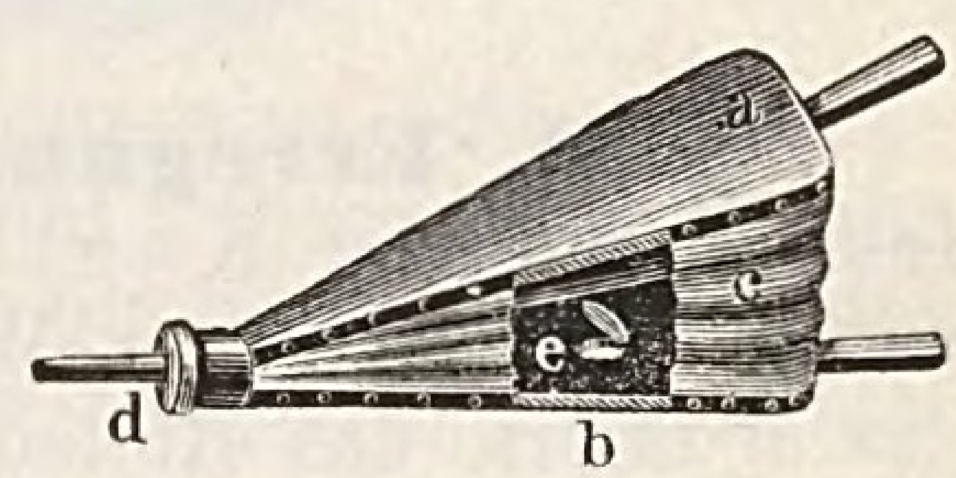
Fig. 73.



Bei der in Fig. 73 dargestellten Einrichtung stehen die Stiefel der beiden Pumpen unterhalb der Bodenventile mit einem kurzen Rohre in Verbindung, an welchem ein als Saugrohr (R) dienender Schlauch befestigt werden kann, den man beim Gebrauche der Spritze in ein nahes Gewässer leitet. Spritzen ohne Saugrohr sind mit einem oben offenen Kasten versehen, welcher Pumpen und Windkessel umgiebt und mit Wasser gefüllt wird.

Im täglichen Leben werden sehr häufig Luftverdichtungs-Apparate angewandt, durch welche nicht ein Wasserstrahl, sondern ein Luftstrom erzeugt werden soll.

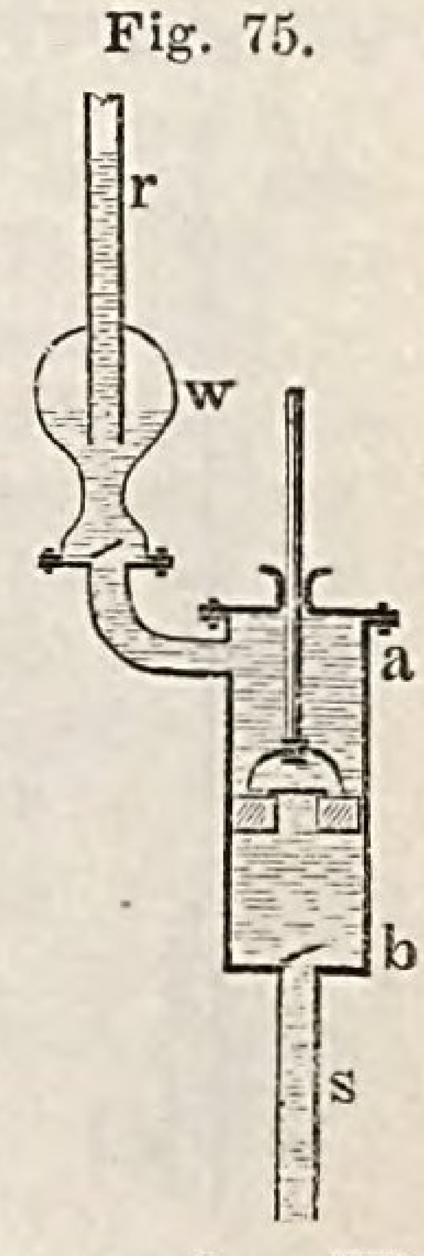
Fig. 74.



Der bekannteste derselben ist der zum Anfachen des Feuers dienende **einfache Blasebalg** (Fig. 74). Er besteht aus zwei Brettern, deren Ränder durch einen in Falten gelegten ledernen Balg (c) miteinander verbunden sind, und von denen das eine (a) an einem Ende auf- und abbewegt werden kann, das andere (auf der Innenseite) mit einem Klappenventile (e) versehen ist. Der Innenraum mündet vorn in eine eiserne Röhre. Zweck des Ventils?

In Schmieden, zur Anfachung des Feuers in Hochöfen u. s. w. werden zusammengesetzte Gebläse von sehr verschiedener Einrichtung angewandt. — Auch beim Atmen wird durch Erweiterung und Verengung der Brust ein Ein- und Ausströmen der Luft bewirkt. Beim Einatmen wird die Luft, welche in den Lungen enthalten ist, verdünnt, weil diese sich mit der Brusthöhle erweitern, beim Ausatmen dagegen verdichtet, weil Brust und Lungen sich zusammenziehen. Im ersteren Falle ist daher aufsen, im letzteren innen ein Überdruck vorhanden.

Fig. 75.



Übungsstoff. 1. In welchem Teile der Feuerspritze kommt der Druck der äufseren Luft, in welchem dagegen der Druck eingeschlossener Luft zur Wirkung, und wodurch? (Überdruck!) — 2. Wie bewegen sich die Ventile (Fig. 73), wenn die Spritze in Thätigkeit ist? — 3. Vgl. die Einrichtung der Pumpen einer Feuerspritze mit der in Fig. 70 dargestellten Pumpe. (Wesentlicher Unterschied zwischen den Saug-, wie zwischen den Steigrohren!) — 4. Eine kleine Saugdruckpumpe soll durch einen Gummischlauch mit einer Spritzflasche so verbunden werden, dafs ein Apparat entsteht, welcher wie eine Feuerspritze wirkt. Wie ist dies auszuführen? — 5. Welcher Teil der Feuerspritze (Fig. 73) bildet einen Hebel? (Mech. V. und N.!) — 6. Wovon ist die Höhe, bis zu welcher der Strahl einer Feuerspritze aufzusteigen vermag, hauptsächlich abhängig, und inwiefern? — 7. Warum ist es nicht gleichgültig, welche Stärke die Kesselwand hat? — 8. Um zu bewirken, dafs das W. bei einer mit Steigrohr versehenen Pumpe möglichst gleichmäfsig abfliefst, versieht man das Steigrohr mit einem Windkessel (w, Fig. 75). Warum kann bei solcher Einrichtung in der Saughebepumpe das W.

auch während des Kolbenniederganges im Steigrohre aufsteigen? — 9. Warum kann aber dennoch nicht eine gröfsere Menge W. gefördert werden, als ohne diese Einrichtung? — 10. Es könnte scheinen, als ob eine solche Pumpe leichter gehen müfste, da das W. nur zum Teil durch den Druck der eingeschlossenen Luft im Steigrohre gehoben wird. Warum ist eine solche Meinung falsch? — 11. Warum ist der Vorteil, welchen die Einschaltung des Windkessels gewährt, für eine Feuerspritze von sehr grofser Bedeutung? — 12. Wie müfste die Saugdruckpumpe (Fig. 70) geändert werden, um denselben Vorteil zu gewähren? — 13. Bei welchen der in §§ 18—20 beschriebenen Apparate kommt der Druck der freien Luft, bei welchen aber der Druck eingeschlossener Luft zur Wirkung? — 14. Bei welchem wirkt beides zugleich? — 15. In welchen Fällen mufs, damit die Wirkung erfolgt, eine Verdünnung, in welchen dagegen eine Verdichtung der Luft, und wann mufs beides vorhergehen? — 16. Bei welchen Apparaten wird dies durch mechanische Vorrichtungen und bei welchen einfach durch den Mund bewerkstelligt?

III. Abschnitt.

Vom Schalle.

§ 22. Erregung des Schalles. Die Töne der musikalischen Instrumente, der Knall der Geschütze, die mannigfaltigen Geräusche, wie das Rasseln der Wagen, das Heulen des Windes, das Plätschern des Wassers, das Rollen des Donners u. s. w., — alle derartigen Sinneseindrücke werden als Schall bezeichnet.

Schall *wird alles genannt, was wir mit unserem Gehöre wahrnehmen. Einen Schall von bestimmter Höhe oder Tiefe nennt man* **Ton.** *Ist ein Schall kurz und kräftig, so wird er* **Knall** *genannt. Eine unregelmäfsige, rasche Folge von Schallempfindungen verschiedener Art und Stärke heifst* **Geräusch.**

Das Verfahren, welches wir anwenden, um zu bewirken, dafs eine Saite, ein Stab, eine Glocke oder dergl. tönt, läfst schliefsen, dafs der den Schall erregende Körper, während er den Schall erzeugt, sich im Zustande der Bewegung befindet. Diese Bewegung ist in vielen Fällen durch das Gefühl deutlich wahrzunehmen, wobei ein Festhalten der schwingenden Teile den Schall dämpft oder ihn ganz aufhebt (Stimmgabel, tönende Glocke). Da nicht bei jeder Bewegung eines Körpers ein Schall wahrgenommen wird, so gelangen wir zu dem weiteren Schlusse, dafs die Bewegung des Schallerregers von besonderer Art sein mufs. Die Richtigkeit dieser Folgerungen läfst sich durch Versuche bestätigen.

Fig. 76.



***Versuch a.** Wird ein dünner Stahlstab (Fig. 76) wiederholt in Schwingungen (Hin- und Herbewegung) versetzt, so läfst sich der schwingende Teil bei langsamer Bewegung mit den Augen verfolgen. Die Bewegung selbst erfolgt lautlos. Nimmt darauf die Schnelligkeit der Schwingungen mehr und mehr

zu, so hört die Gesichtswahrnehmung allmählich auf; an ihre Stelle tritt eine Gehörsempfindung: wir hören einen tiefen Ton, welcher höher wird, wenn die Schwingungen schneller erfolgen. — Könnte man die Geschwindigkeit derselben beliebig steigern, so würde schliefslich wieder lautlose Stille eintreten. (Grenzen der Hörbarkeit von schwingenden Bewegungen.)

***Versuch b.** Bringt man das obere Ende einer tönenden Stimmgabel (Fig. 77) oder den Rand einer tönenden Glocke (Fig. 79) mit dem Kügelchen eines Fadenpendels in Berührung, so wird letzteres abgestofsen. — Wasser wird auseinandergespritzt, wenn es mit den freien Ästen einer tönenden Stimmgabel oder mit dem Rande einer tönenden Glocke in Berührung kommt. Diese Erscheinung tritt bei einer mit Wasser gefüllten Glocke nur an bestimmten Stellen ein (beim tiefsten Tone nur an 4 Stellen, von denen je 2 einander gegenüberliegen, Fig. 80).

Fig. 77.

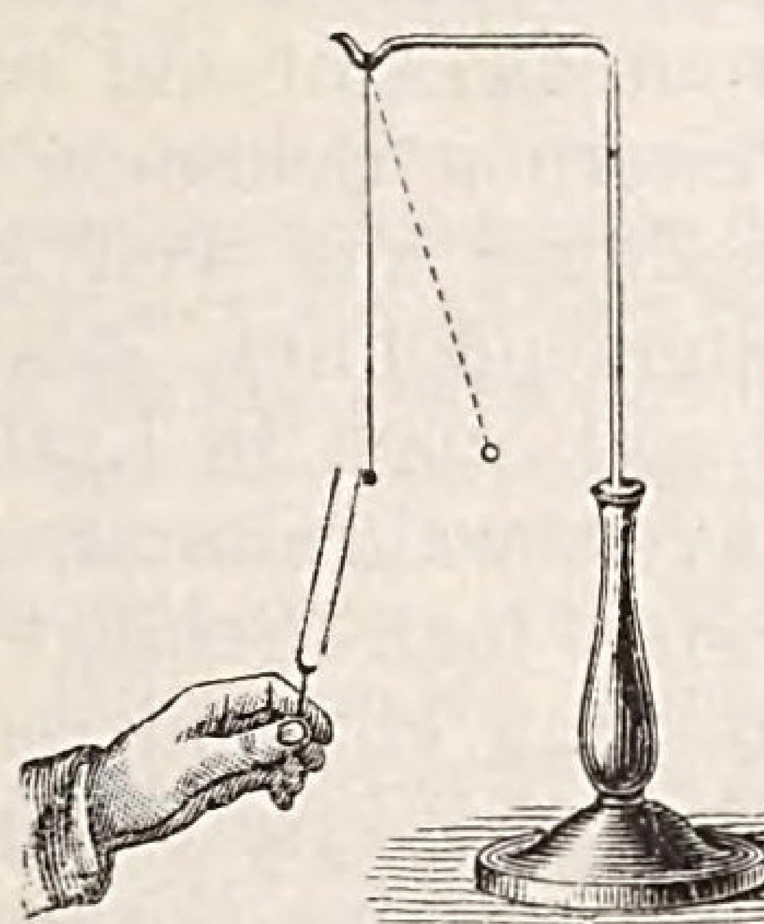


Fig. 78.



Fig. 79.

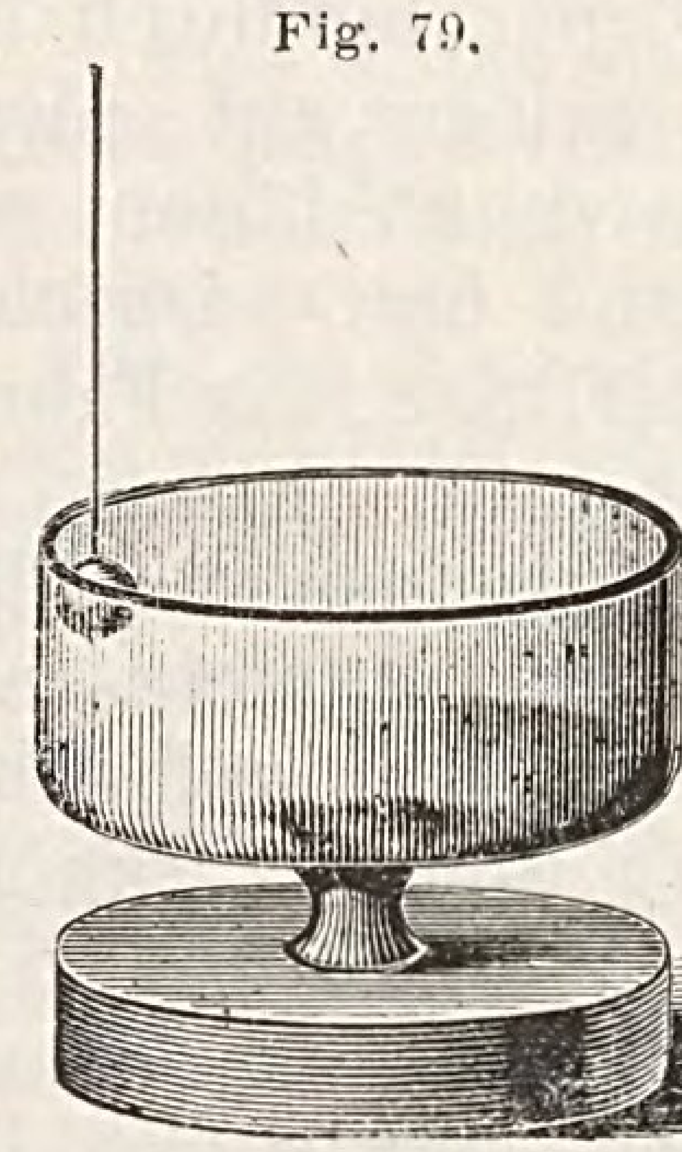
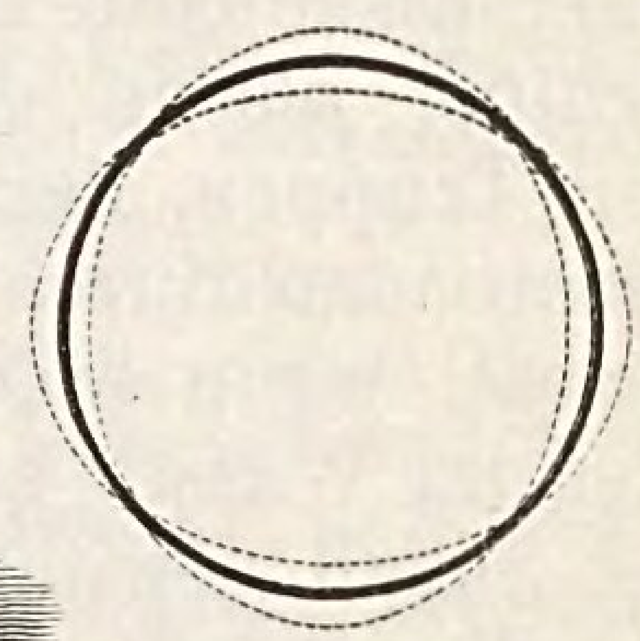


Fig. 80.



Der Schall wird durch schnell aufeinander folgende Schwingungen eines elastischen Körpers (des **Schallerregers**) hervorgerufen.

Übungsstoff. 1. Inwiefern hängt a. die Entstehung eines Schalles, b. die Höhe und Tiefe eines Tones von der Zahl der Schwingungen des schallerregenden K. ab? — 2. Warum kann man zu Versuch a nicht jeden beliebigen Stab verwenden? — 3. Welche Beziehung besteht nach der Erfahrung zwischen der Höhe eines Glockentones und der Gröfse der Glocken? — 4. Welche Mittel werden bei Saiten-Instrumenten angewandt, damit verschiedene Töne entstehen? — 5. Welche Ersch. wird eintreten, wenn man das äufserste Ende des Zinkens einer kräftig tönenden Stimmgabel etwa mit dem Rande eines Glases in Berührung bringt, u. w.? — 6. Warum kann es keinen Einflufs auf das Tönen der Gabel ausüben, wenn man mit dem unteren Ende des Zinkens ebenso verfährt? — 7. Wenn eine Turmglocke kräftig angeschlagen wird, so verschwimmt der sonst scharf abgegrenzte Rand. Erkl.! — 8. Welchen Einflufs mufs die Kr., mit welcher eine Stimmgabel oder Glocke angeschlagen, eine Saite gestrichen wird, auf die Weite der Schwingungen ausüben? (Tonstärke!) — 9. An dem äufseren Ende des einen Astes einer recht starken Stimmgabel sei in geradliniger Verlängerung desselben ein spitzer Blechstreifen befestigt. Was für eine Linie wird diese Spitze auf einer berufsten Glasscheibe beschreiben, wenn man die Gabel während des Tönens über die Scheibe hinwegzieht? — 10. Inwiefern hängt die Gestalt dieser Linie von der Geschw. ab, mit welcher man die Gabel fortbewegt? — 11. Wie wird die Gestalt der Linie sich ändern, wenn der Ton der Gabel an Stärke abnimmt? — 12. Warum eignet sich eine starke Gabel zu diesem Versuche besser als eine schwache?

§ 23. Fortpflanzung des Schalles.*) Das Geläute einer Glocke, der Knall eines Geschützes, das Rasseln eines Wagens u. s. w. ist bei ruhiger Luft nach jeder Richtung hin hörbar. Wird ein Schall nach einer bestimmten Richtung hin erregt, wie z. B. beim Sprechen oder Rufen, so ist er in dieser Richtung am deutlichsten zu hören.

In der Luft pflanzt sich der Schall nach allen Richtungen fort.

Die Erfahrung lehrt ferner, dafs man den Schall auch durch feste und flüssige Körper hindurch hören kann. So ist z. B. das Ticken einer Taschenuhr, welche auf einem Tische liegt oder an einer Wand hängt, am deutlichsten zu hören, wenn man das Ohr auf den Tisch legt oder gegen die Wand hält. Durch die eisernen Schienen des Geleises einer Eisenbahn hört man das Fahren des Zuges aus weit gröfserer Entfernung als in der Luft. Ebenso ist Kanonendonner, das Marschieren von Truppen, der Hufschlag der Pferde u. dgl. noch in Entfernungen, in denen man durch die Luft nichts mehr davon wahrnimmt, sehr deutlich hörbar, wenn man das Ohr auf den Erdboden legt. Schlägt ein Schwimmer im Wasser zwei Steine zusammen, so kann ein anderer in der Nähe den Schall sowohl innerhalb wie aufserhalb des Wassers hören, während derselbe Schall in einiger Entfernung nur noch im Wasser hörbar ist. Zahme Fische lassen sich durch Klingeln u. dgl. locken. Aus diesen und anderen ähnlichen Beobachtungen läfst sich schliefsen:

Feste und flüssige Körper leiten den Schall im allgemeinen besser als die Luft.

Bei den festen Körpern ist das Vermögen den Schall zu erregen und fortzupflanzen um so geringer, je geringer ihre Elasticität ist. — Weiche lockere Stoffe, z. B. Filz, Watte oder Schnee, ferner pulverförmige Körper, wie Asche, Sägespäne u. dgl., schwächen den Schall stark ab; sie werden daher z. B. zur Ausfüllung der Doppelwände von Fernsprechräumen überall angewandt, wo die aufserhalb vorkommenden Geräusche Störungen hervorrufen würden. Zur Dämpfung der Töne im Pianoforte dienen Filzplatten. Die Knochen unseres Kopfes vermögen den Schall gut zu leiten. Schwerhörige hören daher z. B. den Ton einer Stimmgabel oder das Ticken einer Uhr viel deutlicher, wenn sie dieselbe an die Zähne oder an die Stirn halten. Ein Musikinstrument klingt lauter, wenn eine damit verbundene, gespannte Schnur mit ihrem freien Ende zwischen den Zähnen festgehalten oder fest gegen die Wand des Gehörganges gedrückt wird.

Ist die Strecke, welche der Schall vom Orte seiner Entstehung bis zu unserem Ohre zurücklegt, grofs, so macht man oft die überraschende Wahrnehmung, dafs der Schall viel später gehört wird, als er entsteht. Wenn man z. B. Steinklopfer oder Holzhauer aus der Ferne beobachtet, so hört man den Schlag erst, nachdem Hammer oder Beil schon wieder aufgehoben sind. Andere ähnliche Beispiele sind der Knall eines Geschützes, der Pfiff einer Lokomotive u. s. w. Zur Fortpflanzung des Schalles ist demnach eine gewisse Zeit erforderlich. Die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft hat man durch direkte Messung in der Weise ermittelt, dafs man genau feststellte, wieviel Zeit der Knall eines

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 89.

Geschützes gebrauchte, um sich eine gewisse Strecke fortzupflanzen. Hieraus hat sich ergeben:

In ruhiger Luft pflanzt sich der Schall ungefähr 340 m in einer Sekunde fort.

Übungsstoff. 1. Welches einfache Mittel pflegt man anzuwenden, um zu bewirken, dafs lautes Rufen im Freien nach einer bestimmten Richtung hin am deutlichsten gehört wird? — 2. Was lehrt die Erfahrung über die Fortpflanzung des Schalles mit dem Winde und gegen den Wind? — 3. Warum heifst es im Sprichworte: Der Horcher an der Wand....? — 4. Inwiefern wird Bergleuten, welche von entgegengesetzten Seiten unterirdische Gänge herstellen, die Schallleitung des Erdreiches zu nutze kommen? — 5. Wenn zwei ziemlich weit voneinander entfernt stehende Personen eine dünne Schnur zwischen den Zähnen halten, oder die Enden der gespannten Schnur dem äufseren Ende des Gehörganges fest anlegen, so kann jeder von beiden ein an der Schnur hervorgerufenes leises Geräusch deutlich hören; ein leiser Schlag gegen das untere Ende eines an der Schnur aufgehängten starken Drahtes von 30—40 cm Länge klingt wie fernes Glockengeläute. Erkl.! — 6. Ein Schrei unter einem Deckbette ist kaum hörbar. Grund! — 7. Eine Spieldose sei in einen inwendig ganz mit Watte gefütterten Kasten gestellt, dessen Wand mehrere Löcher enthält, durch welche Schnüre, die an der Dose befestigt sind, hindurchgehen. Welche überraschende Ersch. läfst sich damit hervorrufen? — 8. Wird das Geräusch, welches ein herannahendes Dampfschiff verursacht, von einem Schwimmer unter oder über dem W. deutlicher gehört werden können, u. w.? — 9. Beim Marschieren nach dem Takte der Musik sind die letzten Reihen eines Regimentes Soldaten mit den ersten Reihen niemals in gleichem Schritte. Erkl.! — 10. Welche Änderung mufs bei den oben zuletzt angeführten bekannten Erschn. eintreten, wenn man sich dem Orte der Entstehung des Schalles immer mehr nähert? — 11. Eine Büchsenkugel fliegt ungefähr 500 m weit in 1 Sek. Vgl. hiermit die Geschw. des Schalles in der Luft.

§ 24. Zurückwerfung des Schalles. Echo. Nachhall. Instrumente.

Steht man in gewisser Entfernung einem Hause, einem Walde oder einer Felswand gegenüber, so kommt ein laut gesprochenes Wort von dort her wieder zurück, sodafs man den Eindruck erhält, als ob sich dort eine zweite Person befände, welche das Wort wiederholte. In grofsen Sälen oder Gewölben macht man dieselbe Wahrnehmung, oder man hört bei geringerer Entfernung von der zurückwerfenden Wand nur einen Nachhall der gesprochenen Worte.

Solche Erscheinungen entstehen dadurch, dafs der Schall von der Wand, gegen welche er gerichtet ist, in ähnlicher Weise zurückgeworfen wird, wie etwa der helle Schein des Sonnenlichtes von einem Spiegel. AB, Fig. 81 und 82, stelle eine solche Wand dar. *Die geraden Linien, in denen sich der Schall vom Schallerreger aus verbreitet, werden* **Schallstrahlen** *genannt.* Trifft der Schallstrahl CD, Fig. 81, die Wand senkrecht, so kommt der Schall nach dem Orte seiner Entstehung wieder zurück und wird hier am deutlichsten gehört; trifft er sie in schräger Richtung (ED, Fig. 82), so schlägt der zurückkommende Strahl eine andere Richtung ein (DC).

Fig. 81.

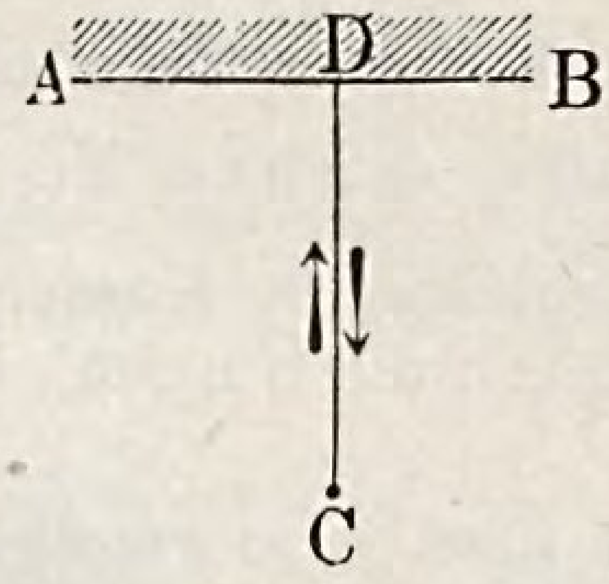
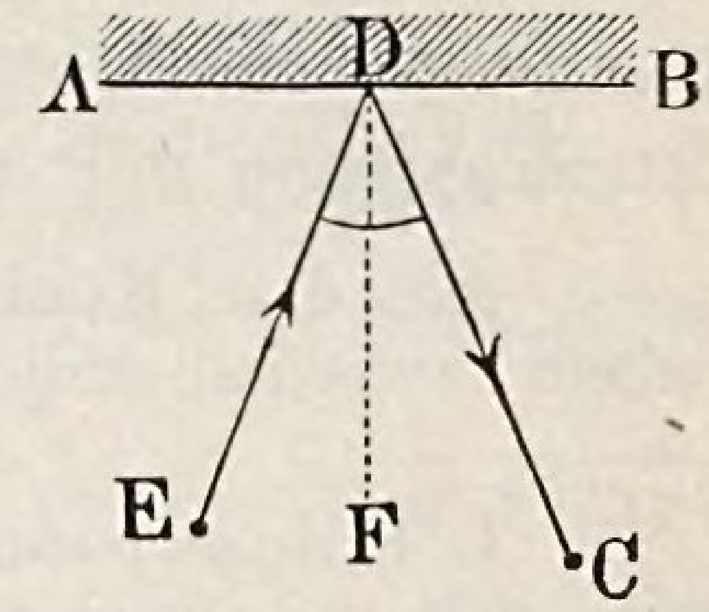


Fig. 82.

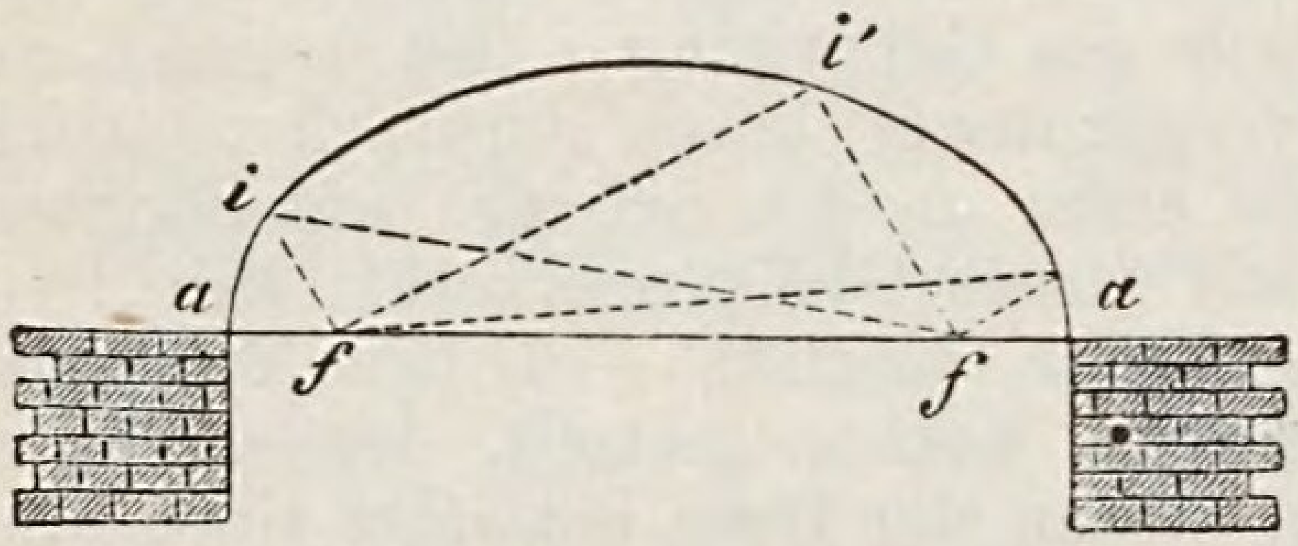


Die Senkrechte, welche man sich auf der vom Schalle getroffenen Wand in demjenigen Punkte errichtet denkt, in welchem der Schallstrahl die Wand trifft, wird **Einfallslot** *genannt* (DF, Fig. 82). — *Der vom einfallenden Strahle und dem Einfallslote gebildete Winkel* (∢ EDF) *heifst* **Einfallswinkel,** *der vom zurückgeworfenen Strahle und dem Einfallslote gebildete Winkel* **Ausfalls-** *oder* **Reflexionswinkel.** — Die Zurückwerfung des Schalles erfolgt nach dem Gesetze:

Der Ausfallswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Die sichersten Beweise für die Richtigkeit dieses Gesetzes bietet die Zurückwerfung des Schalles bei Hohlspiegeln, sowie in elliptisch gekrümmten Räumen (Fig. 83).[1]) In solchen Räumen (Paulskirche in London, Kuppel der Peterskirche in Rom u. a.) wird ein Schall so zurückgeworfen, dafs zwei Personen von den beiden Brennpunkten (f und f′) aus sich flüsternd unterhalten können, ohne dafs dazwischen stehende Personen das Geringste hören. (Man denke sich in i und i′ u. s. w. je eine Tangente gezogen und in den Berührungspunkten auf derselben Senkrechte als Einfallslot errichtet.)

Fig. 83.



Der zurückgeworfene Schall wird **Echo** *oder* **Wiederhall** *genannt, wenn man ihn von dem ursprünglichen deutlich unterscheiden kann; fallen beide Schalle teilweise zusammen, so nennt man den zurückgeworfenen* **Nachhall.**

Ob die eine oder andere Erscheinung eintritt, hängt von der Entfernung der Wand ab, welche den Schall zurückwirft. Das menschliche Ohr vermag in 1 Sekunde nur 10 Töne deutlich voneinunder zu unterscheiden. Erst nach 0,1 Sek. ist demnach ein Schall im Gehör ganz verklungen. Während dieser Zeit kann der Schall einen Weg von ungefähr 34 m zurücklegen (§ 23). Ist nun der Schallstrahl senkrecht gegen die Wand gerichtet, so legt der Schall denselben Weg zweimal zurück. Damit ein Echo entstehen kann, mufs also die Wand wenigstens 17 m von dem Orte der Entstehung des Schalles entfernt sein. Ist sie nicht so weit entfernt, so entsteht nur ein Nachhall.

Das Echo heifst **einsilbig** oder **mehrsilbig,** je nachdem es nur einen Schall oder mehrere rasch aufeinander folgende Schalle wiedergiebt. Ein einsilbiges entsteht, wenn die Wand, welche den Schall zurückwirft, nur einmal 17 m, ein mehrsilbiges, wenn sie mehrmals 17 m von dem Orte der Entstehung des Schalles entfernt ist. — Ferner unterscheidet man **einfache** und **mehrfache Echos.** Einfach nennt man ein Echo, wenn ein oder mehrere Schalle sich nur einmal wiederholen, mehrfach, wenn eine mehrmalige Wiederholung stattfindet. Letzteres kann nur durch mehrere, ungleichweit entfernte Wände erfolgen.

Auf dem Königsplatze in Kassel hört man ein 9faches Echo, beim Lorelei-Felsen (zwischen Koblenz und Bingen) ein 17faches; bei Adersbach in Böhmen wird

[1]) Ellipse nennt man eine regelmäfsig krumme Linie von solcher Beschaffenheit, dafs die Summen der Abstände irgend welcher Punkte derselben von den sogen. Brennpunkten (f und f′) überall gleich sind (if + if′ = i′f + i′f′). Die Linien if, if′ u. s. w. werden Leitstrahlen genannt.

ein 7faches Echo 3mal gehört. Der Nachhall entsteht in manchen Kirchen, Theatern, Konzertsälen u. dgl. und kann bei einiger Stärke sehr störend wirken, indem er die gesprochenen Worte oder die Töne der Musik undeutlich macht; man sucht ihn zu vermeiden, indem man derartige Räume so baut, dafs sie die Schallwellen möglichst zerstreuen.

Bei allseitiger Verbreitung in der Luft erleidet der Schall eine Abschwächung; er bleibt dagegen auch auf weitere Entfernungen fast ungeschwächt, wenn er sich nur in einer Richtung fortpflanzen kann. Hierauf beruhen folgende Instrumente:

1. **Das Sprachrohr** (Fig. 84 und 85). Um im Freien gesprochene Worte weithin verständlich zu machen, bedient man sich eines gewöhnlich 1½ bis 2 m langen Rohres, das an einem Ende mit einem Mundstücke versehen ist und nach dem anderen Ende hin allmählich weiter wird. — Wie läfst sich die Wirkung des Sprachrohres nach Fig. 85 erklären?

Fig. 84.

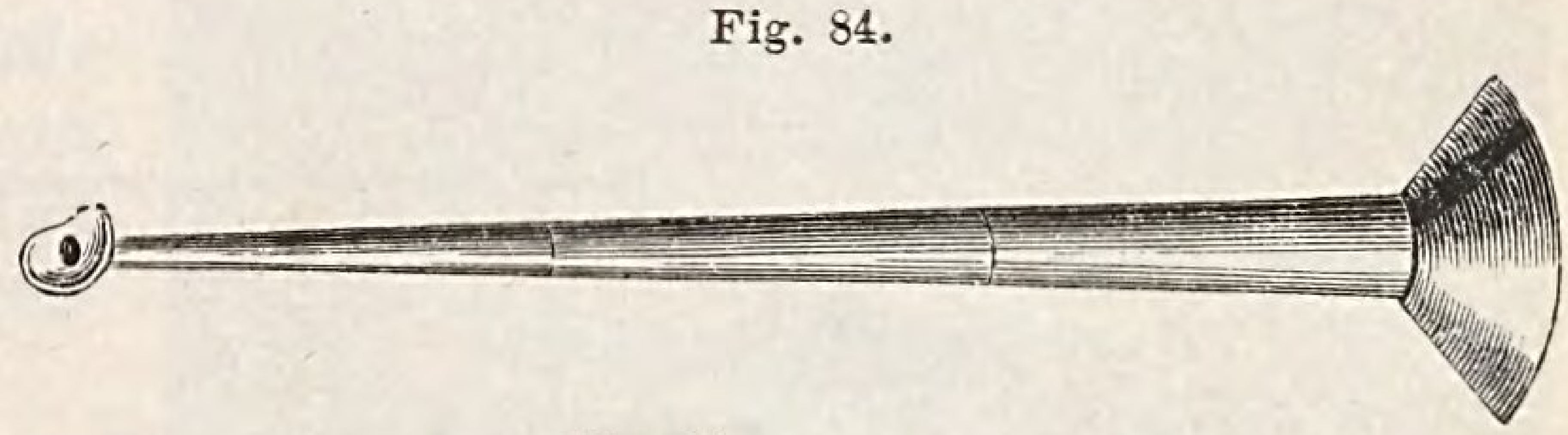
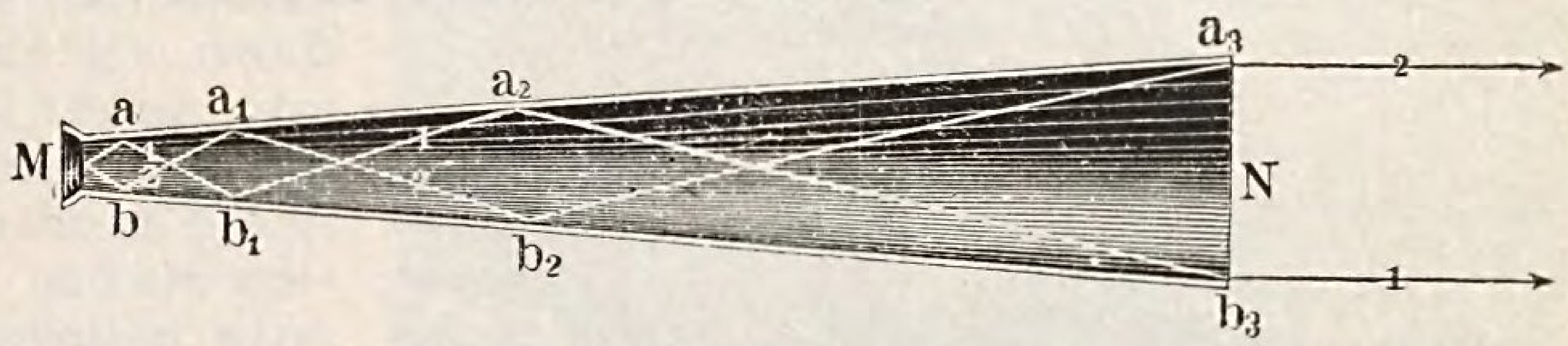


Fig. 85.

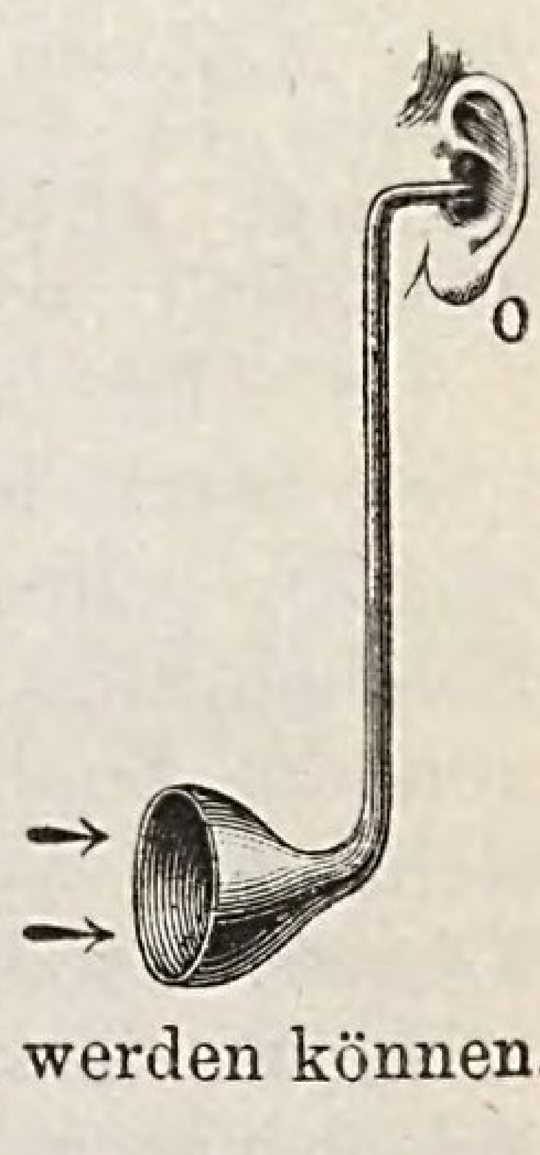


Das Sprachrohr wird namentlich von Schiffern angewandt, um aus gröfserer Entfernung Personen, die sich auf einem anderen Schiffe oder am Ufer befinden, trotz des Geräusches von Wind und Wellen Worte zurufen zu können.

2. **Das Schall- oder Kommunikationsrohr.** Hiermit bezeichnet man eine 2—3 cm weite Blechröhre, welche an jedem Ende zum bequemen Hineinsprechen etwas erweitert ist und den Zweck hat, Worte nach einem entfernt gelegenen Raume hin deutlich hörbar zu machen. Zum Anrufen wird vielfach eine kleine, im Mundstück angebrachte Pfeife benutzt, deren Ton weithin hörbar ist.

Das Schallrohr findet eine zweckmäfsige Anwendung in Geschäftshäusern, in denen es z. B. die Verkaufsräume mit den Arbeitsräumen verbindet, sowie auf Dampfschiffen, auf denen es namentlich vom Kapitän benutzt wird, um vom Deck aus nach den tiefer gelegenen Schiffsräumen deutlich vernehmbare Befehle auszuteilen.

Fig. 86.



3. **Das Hörrohr** (Fig. 86) soll die Bewegung einer gröfseren Anzahl von Luftteilchen auf das menschliche Ohr übertragen. Es besteht gewöhnlich aus einer kurzen Röhre, welche an beiden Enden nach entgegengesetzten Richtungen so umgebogen ist, dafs der obere, dünne Schenkel bequem ins Ohr und der untere, trichterförmig erweiterte Schenkel dem Sprechenden entgegengehalten werden kann.

Das Hörrohr wird von Schwerhörenden gebraucht. — Ärzte wenden Hörrohre an, durch welche schwache Geräusche, die im Innern des Körpers durch die Thätigkeit mancher Organe entstehen, wie z. B. des Herzens, der Lunge beim Atmen, deutlich wahrgenommen werden können.

Übungsstoff. 1. Wie mufs man ein Blasinstrument richten, um von einer entfernten Felswand das Echo selbst am besten hören zu können, u. w.? — 2. Wievielmal wird in einem Punkte der Linie DC (Fig. 82) oder in deren Nähe der von E ausgehende Schall hörbar sein? — 3. Führe nach eigener Beobachtung Orte an, an denen ein Echo hörbar ist. — 4. Warum pflegt in Zimmern kein Echo hörbar

zu sein? — 5. Warum braucht man sich beim Sprechen im geschlossenen Raume nicht so anzustrengen wie im Freien? — 6. In leeren Sälen hallen alle Worte und Tritte stärker als in gefüllten. Erkl.! — 7. In gebirgigen Gegenden rollt der Donner bedeutend stärker als in Ebenen; w.? — 8. An einem Orte werde ein 3silbiges Echo gehört. Welchen Einfluſs würde es auf dasselbe ausüben, wenn man sich der Wand, welche den Schall zurückwirft, immer mehr näherte? — 9. Eine Wand sei von einer Schallquelle 50 m entfernt. Nach wv. Sek. wird man am Orte der Entstehung des Schalles das Echo hören? — 10. Angenommen, man hörte vom Eisenbahnzuge aus denselben Pfiff der Lokomotive zweimal und zwar das Echo 5 Sek. später: wie weit müſste dann die reflektierende Wand vom Zuge entfernt sein, u. w.? — 11. Vgl. die Einrichtung und Benutzung eines Schallrohres mit derjenigen eines Sprachrohres. — 12. Desgl. ein Sprachrohr mit einem Hörrohre.

IV. Abschnitt.

Vom Lichte.

§ 25. Selbstleuchtende und dunkle Körper. Verbreitung des Lichtes. Die Sonne und die Fixsterne senden Lichtstrahlen aus und werden uns dadurch sichtbar; dagegen besitzen die meisten irdischen Körper, wie die Erfahrung lehrt, die Eigenschaft des Leuchtens nicht. Sie werden vielmehr erst dann sichtbar, wenn sie von dem Licht der Sonne oder eines leuchtenden Körpers getroffen werden.

Körper, welche von selbst sichtbar sind, heiſsen **selbstleuchtend (Lichtquellen)**; *Körper, denen diese Eigenschaft fehlt, werden* **dunkel** *genannt.* **Licht** *ist die Ursache, durch welche uns die Körper sichtbar werden.*

Die Hauptlichtquelle für die Erde ist die Sonne; ihr Licht ist viele Millionen mal stärker als das Licht der meisten Fixsterne. Das Licht des Mondes ist Sonnenlicht, das vom Monde zurückgeworfen wird. — Irdische Körper können durch starke Erhitzung zu Lichtquellen werden (Beispiele!); nur wenige zeigen schon bei gewöhnlicher Temperatur ein schwaches Leuchten, z. B. Phosphor.

Stark leuchtende Körper lassen in ihrer Umgebung häufig Lichtstreifen wahrnehmen, welche sich nach allen Seiten ausbreiten. Diese Erscheinung zeigt sich am schönsten am bewölkten Himmel, wenn das von der Sonne ausgehende Licht durch die Lücken einer vor derselben stehenden Wolke ungehindert hindurchgehen kann (Fig. 87, folg. Seite). Körper, welche weniger stark leuchten, wie glühende Kohlen, Flammen u. s. w., lassen zwar derartige Erscheinungen nicht erkennen, sie sind jedoch von allen Seiten sichtbar, wenn nicht zwischen ihnen und unserem Auge sich ein Körper befindet, durch den wir nicht hindurchsehen können. Hieraus folgt:

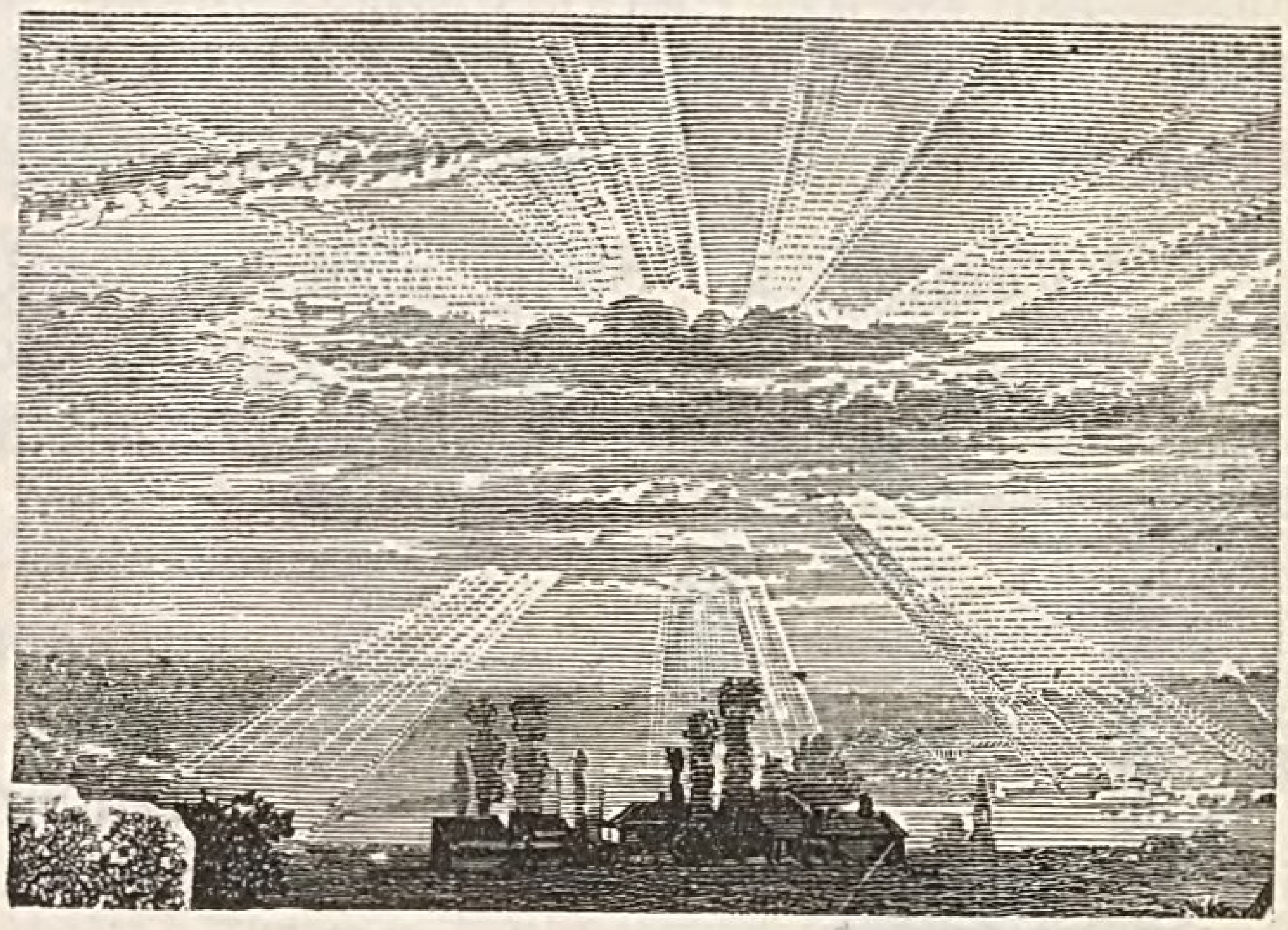
*) Vgl. II. Lehrstufe, § 111 ff.

Von einem leuchtenden Körper geht das Licht nach allen Seiten aus.

Die Linien, welche die Fortpflanzungsrichtung des Lichtes angeben, heifsen **Lichtstrahlen.** *Der Stoff, durch den das Licht hindurchgeht, wird* **Mittel** *genannt.*

Körper, welche nicht selbst leuchten, sind entweder **durchsichtig** oder **durchscheinend** oder **undurchsichtig.** (Beispiele!) Durchsichtige Körper lassen soviel Licht durch, dafs man Gegenstände durch sie hindurch deutlich erkennen kann; durchscheinende Körper lassen weniger Licht durch sich hindurch; undurchsichtige Körper sind für Licht undurchdringlich.

Fig. 87.



Es giebt weder vollkommen durchsichtige, noch vollkommen undurchsichtige Stoffe. Das reinste Glas erscheint farbig, wenn mehrere Scheiben aufeinander liegen und ein weifser Körper dahinter gehalten wird. In sehr tiefen Gewässern kann man den Grund nicht sehen, wenn das Wasser auch noch so klar ist. Wäre die Luft vollkommen durchsichtig, so könnte der Himmel nicht blau erscheinen. Undurchsichtige Körper, z. B. die Metalle, werden durchscheinend, wenn man sie zu sehr dünnen Blättchen auswalzt.

Übungsstoff. 1. Nenne selbstleuchtende und dunkle K. — 2. Desgl. einen K., welcher sich durch Reiben sehr leicht leuchtend machen läfst. (Wichtige Anwendung im täglichen Leben!) — 3. Andere Beispiele von K., welche zu Lichtquellen werden können! — 4. Welche Veränderung findet im Zustande solcher K. statt, ehe das Leuchten beginnt? — 5. In welchen Fällen ist bei der Beurteilung, ob ein irdischer K. selbstleuchtend ist, ein möglichst dunkler Raum erforderlich, und wann ist dies weniger nötig? Beispiele! — 6. Welche Täuschung kann daher hierbei leicht vorkommen? — 7. Wenn man ein Stück Blech oder dergl. in eine leuchtende Flamme hält, so lagern sich auf demselben da, wo es von der Flamme berührt wird, schwarze Kohleteilchen (Rufs) ab. Dies findet nicht mehr statt, wenn das Blech schon stark erhitzt ist. Worin mag es hiernach seinen Grund haben, dafs die Flamme leuchtet? — 8. Wie erklärt es sich, dafs ein Raum von einem Punkte aus erleuchtet werden kann? — 9. Nenne durchsichtige und durchscheinende K.! — 10. Wie verhält sich a. gewöhnliches, b. mattgeschliffenes, c. gepulvertes Glas gegen Licht; desgl. Eis, Schnee, Wasser, Wasserdampf und Wolken? — 11. Wenn auf lange Dürre ein Regen folgt, so ändert sich der Grad der Durchsichtigkeit der Luft, wie sich an weit entfernten Gegenständen deutlich erkennen läfst; inwiefern?

§ 26. Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Schatten. Fällt Sonnenlicht durch einen schmalen Spalt in ein dunkles Zimmer, so sieht man die in der Luft schwebenden Staubteilchen in geraden Linien erleuchtet; ferner sind die von hellen Gasflammen oder elektrischen Lampen ausgehenden und durch starken Nebel dringenden Lichtstrahlen ein Beweis für die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes, ebenso die bisweilen am Himmel hinter Wolken hervortretenden

Lichtstreifen (Fig. 87). Blickt man durch kleine Öffnungen beliebig weit voneinander entfernter, undurchsichtiger Körper nach irgend einer Lichtquelle, so ist diese nur dann sichtbar, wenn die Öffnungen in gerader Linie liegen, vorausgesetzt, dafs die Luft zwischen Auge und Lichtquelle überall die gleiche Beschaffenheit hat, oder der Lichtstrahl nicht noch durch einen anderen durchsichtigen Körper hindurchgeht. Es gilt demnach der Satz:

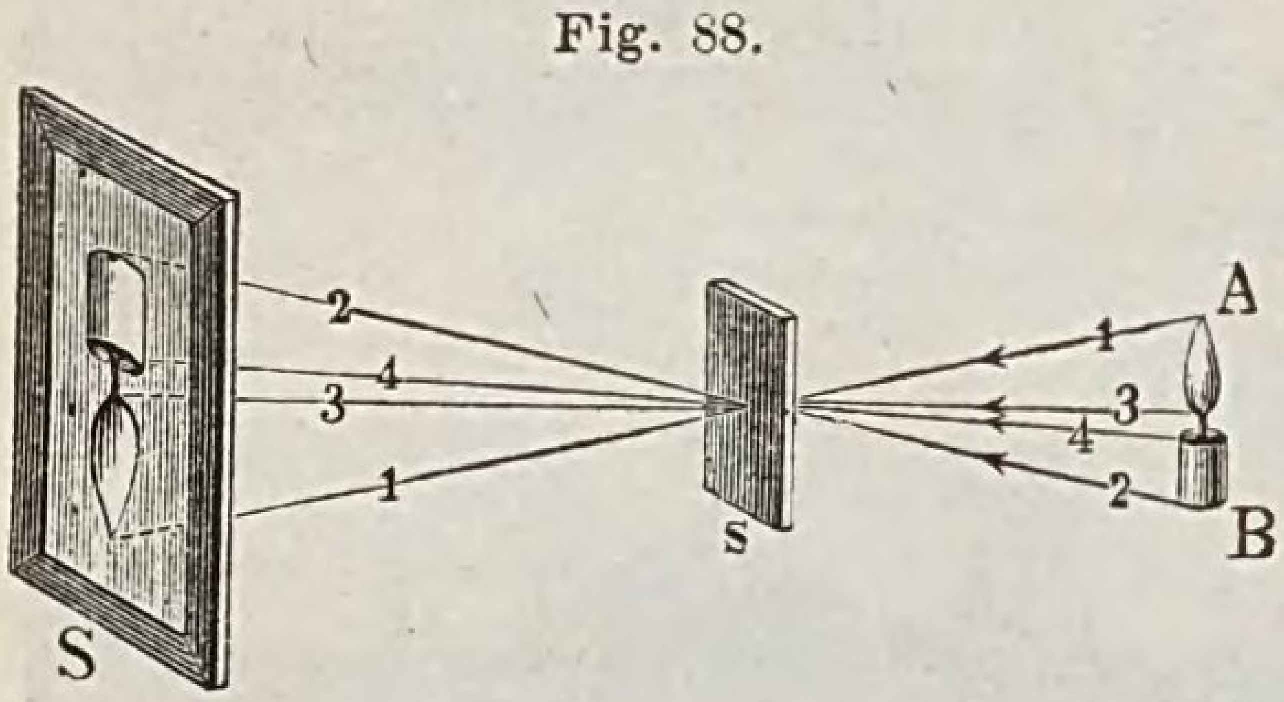
In einem durchaus gleichartigen Mittel pflanzt sich das Licht in geraden Linien fort.

Erscheinungen,

welche sich aus der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes erklären:

* **Versuch a.** Stellt man im verdunkelten Zimmer einem weifsen oder durchscheinenden Schirme (S, Fig. 88) eine Flamme gegenüber und zwischen beide einen undurchsichtigen Schirm (s), welcher in der Mitte eine kleine Öffnung hat, so entsteht auf ersterem ein umgekehrtes Bild der Flamme, dessen Gröfse sich mit der Entfernung der Schirme von der Flamme ändert.

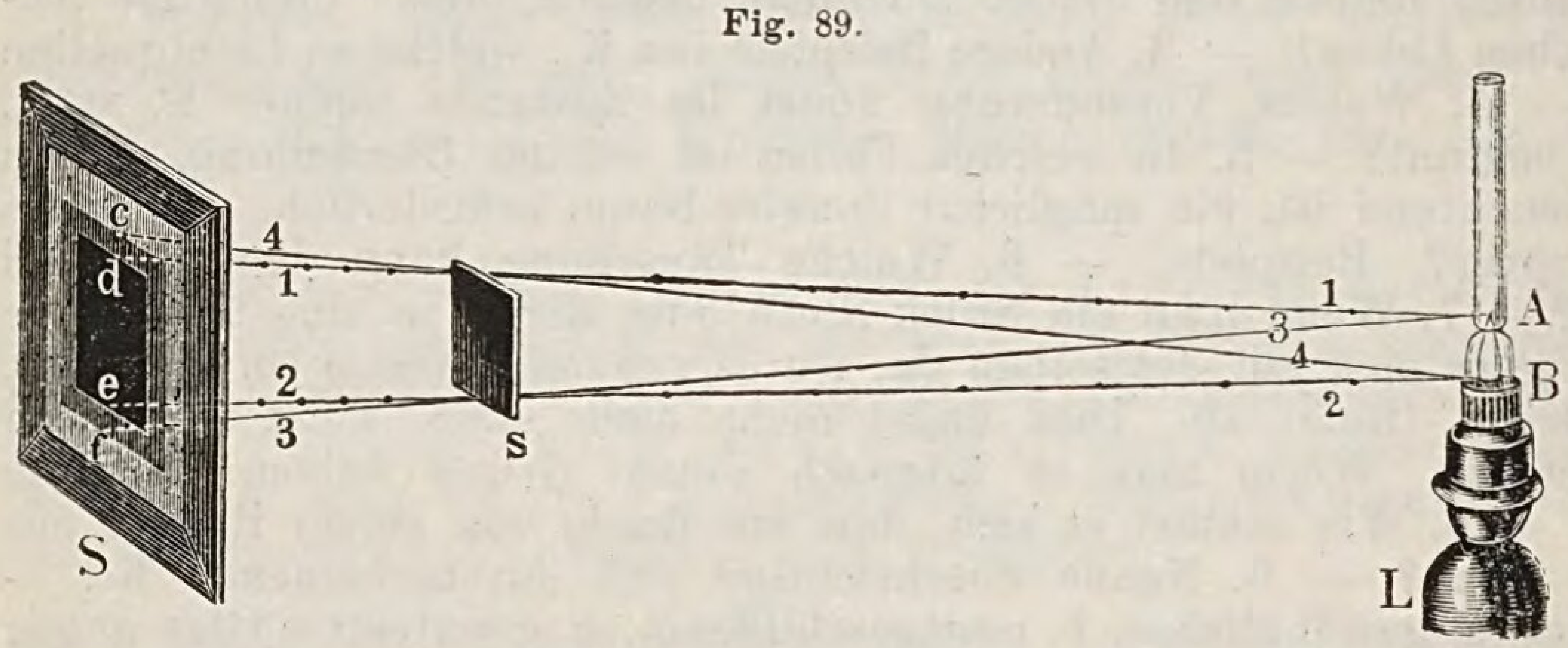
Fig. 88.



Bilder, welche auf einem Schirme aufgefangen werden können, heifsen **wirkliche** *oder* **objektive Bilder.**

Versuch b. Verfährt man ebenso unter Anwendung eines kleinen, undurchsichtigen Schirmes ohne Öffnung (Fig. 89), so erhält man einen scharf abgegrenzten Schatten, wenn beide Schirme einander möglichst nahe stehen. Entfernt man darauf die Schirme mehr und mehr voneinander, so fangen die Ränder des Schattens an undeutlich zu werden, indem sich ein zweiter Schatten bildet, welcher den ursprünglichen als matt beleuchteter Rahmen umgiebt. Mit zunehmender Entfernung ändert sich die Gröfse der beiden Schatten.

Fig. 89.



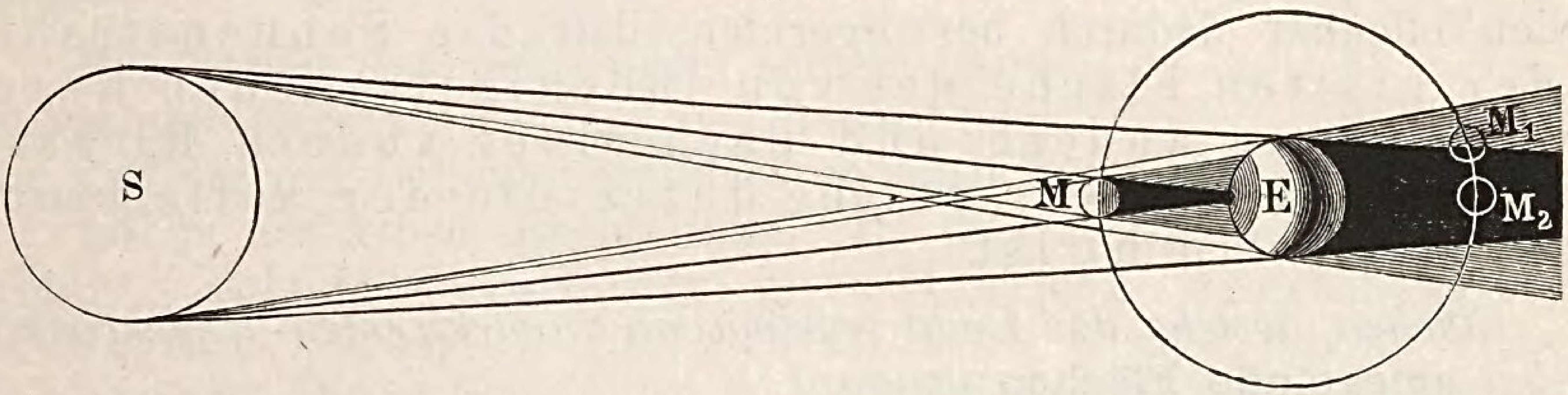
Derjenige Teil eines beschatteten Raumes, welcher gar kein Licht erhält, wird **Kernschatten** *genannt; der Raum, welcher nur von einem Teile der Lichtquelle beleuchtet wird, heifst* **Halbschatten.**

Die Entstehung der beiden Schatten erklärt sich in folgender Weise. *a. Kernschatten:* Denkt man sich von den äufsersten Punkten der Lichtquelle (A und B, Fig. 89), gerade Linien (1 und 2) gezogen, welche die gegen-

überliegenden Ränder des undurchsichtigen Schirmes (s) berühren, so wird dadurch derjenige Raum zwischen den beiden Schirmen begrenzt, in welcher gar kein Licht eindringen kann. *b. Halbschatten:* Stellt man sich ferner vor, eine jener beiden Grenzlinien des Kernschattens (etwa Ad) werde um den Punkt, in welchem sie den undurchsichtigen Schirm berührt, so gedreht, dafs sie dabei durch die ganze Lichtquelle hindurchgeht (von A nach B), so giebt sie in ihrer neuen Lage (Bc) die äufsere Grenze des Halbschattens an. Auf diesem Wege durchschreitet die Linie in der Umgebung des Kernschattens einen Raum, dessen Helligkeit offenbar nach aufsen hin zunehmen mufs, denn je weiter die Linie sich bei ihrer Drehung vom Kernschatten entfernt hat, desto gröfser ist auch der durchschrittene Teil der Lichtquelle, von welchem Licht in die Umgebung des Kernschattens gelangen kann. — Wäre die Lichtquelle nur ein leuchtender Punkt, so könnte kein Halbschatten entstehen.

Sonnen- und Mondfinsternis. Wie dunkle Wolken den unter ihnen befindlichen Luftraum beschatten, so entsteht im Weltraume ein Schatten von jedem Himmelskörper, welcher sein Licht von der Sonne erhält. Tritt ein anderer Himmelskörper, welcher kein eigenes Licht hat, bei seiner Bewegung im Weltraume in einen solchen beschatteten Raum, so wird er verdunkelt, wie der Erdboden durch die Wolke verdunkelt wird. Erkläre hiernach Fig. 90. (In der Figur bedeutet S die Sonne, M den Mond, E die Erde.)

Fig. 90.

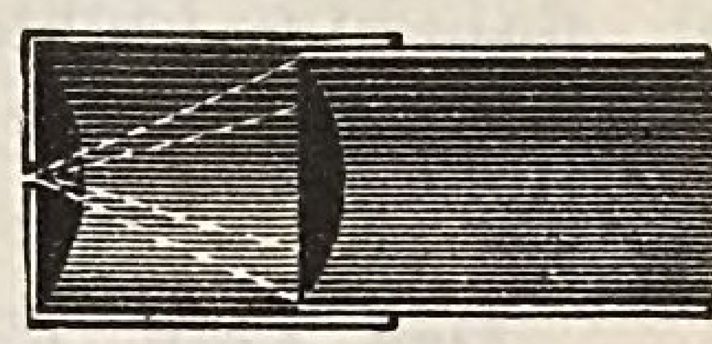


Die Verfinsterung, welche auf der Erde dadurch entsteht, dafs die Erde in den Schatten des Mondes tritt, wird **Sonnenfinsternis** *genannt.* Je nachdem die Erde dabei in den Kern- oder in den Halbschatten des Mondes (M) gelangt, ist die Verfinsterung stärker oder schwächer. Im ersteren Falle bezeichnet man die Verfinsterung als totale, im letzteren als partiale Sonnenfinsternis.

Gelangt der Mond bei seiner Umdrehung um die Erde in den Kernschatten der Erde, so entsteht eine **Mondfinsternis,** und zwar eine totale, wenn der Mond ganz (M_2), eine partiale, wenn er nur teilweise (M_1) verfinstert erscheint.

Übungsstoff. 1. Bei der Vermessung eines Feldes soll zwischen zwei Stangen ein Punkt gesucht werden, welcher in derselben Geraden liegt. Wie ist dies auszuführen, und worauf beruht die Richtigkeit des Verfahrens? — 2. Von 2 ineinander verschiebbaren Röhren (Fig. 91) habe die engere einen durchscheinenden, die weitere einen undurchsichtigen Boden mit kleiner Öffnung in der Mitte. Was wird man in der Röhre wahrnehmen, wenn man sie hell beleuchteten Gegenständen zukehrt und hierbei die weite Öffnung vors Auge hält? Einflufs der Verschiebung! Erkl.! — 3. Wie mufs sich der Schatten (Fig. 89) ändern, wenn der Schirm s verschoben wird? — 4. Zu welcher Tageszeit sind die Schatten der Gegenstände im Freien am kürzesten und wann am längsten? Grund! — 5. Richtung derselben morgens, mittags und gegen Abend? — 6. Bei recht hellem Sonnenscheine ist der Schatten eines Gebäudes an den von letzterem auslaufenden Rändern nahe am Gebäude scharf begrenzt, in weiterer Entfernung aber mit einem immer breiter werdenden verschwommenen Rande versehen; letzterer ist an den mit dem Gebäude parallel laufenden Schattenrändern überall von gleicher Breite, aber um so breiter, je höher das Gebäude ist und je tiefer die Sonne steht. Erkl.! — 7. Schärfe

Fig. 91.



des Schattens von den Teilen eines Stakets oder dergl.? — 8. Bei hohem Sonnenstande und sehr heller Beleuchtung läuft der Kernschatten eines Baumstammes deutlich von den Baumrändern ab in eine Spitze aus. Grund! — 9. Welche Gestalt hat der Schatten einer Kugel im Sonnenlichte auf einem hellen Schirme, wenn die Strahlen senkrecht gegen den Schirm fallen? — 10. Vgl. damit den Schatten, welcher durch das Licht eines sehr hell leuchtenden Punktes entstehen würde. — 11. Unter welcher Bedingung ist der Schatten einer kreisförmigen Scheibe ebenso beschaffen? Grund! — 12. Suche hiernach die Bedingungen auf, unter denen aus der Kreisform des Schattens auf die Kugelgestalt des schattenwerfenden Gegenstandes geschlossen werden kann? — 13. Der Schatten, welcher bei Mondfinsternissen von der Erde auf dem Monde entsteht, ist immer kreisförmig begrenzt. Welchen Schlufs zieht man hieraus?

§ 27. Zurückwerfung des Lichtes. Ebene Spiegel.*)

Beim Auf- und Untergange der Sonne sieht man oft weit entfernte Fensterscheiben sehr hell glänzen. Läfst man Sonnenstrahlen gegen einen Spiegel fallen, dessen glänzende Fläche einer Wand zugekehrt ist, so erblickt man auf letzterer einen hellen Schein, welcher mit der Drehung des Spiegels seine Lage ändert. Bei klarem Himmel sieht man das Bild der Sonne in jedem ruhigen Gewässer, und zwar erscheint es um so tiefer, je höher die Sonne am Himmel steht. — Derartige Erscheinungen werden offenbar dadurch hervorgerufen, dafs die Sonnenstrahlen an der glatten Fläche der von ihnen getroffenen Körper ihre Richtung ändern und nach einer andern Richtung hingeworfen werden, welche durch die der auffallenden Strahlen bestimmt ist.

Flächen, welche das Licht regelmäfsig zurückwerfen (reflektieren [1]), werden **spiegelnde Flächen** *genannt.*

Versuch. Hält man im verdunkelten Zimmer etwa eine Kerzenflamme hinter den senkrechten Spalt (0, Fig. 92) in einem halbkreisförmigen Gradbogen, in dessen Mittelpunkte ein kleiner, drehbarer Spiegel angebracht ist, so zeigt sich auf dem Gradbogen ein Lichtstreifen. Bei der Drehung des Spiegels verschiebt sich derselbe so, dafs die Lichtstreifen vor und nach ihrer Zurückwerfung mit dem das Einfallslot darstellenden Zeiger (b) stets gleiche Winkel einschliefsen (∢ sab = ∢ bas_1; vgl. Fig. 93).

Fig. 92.

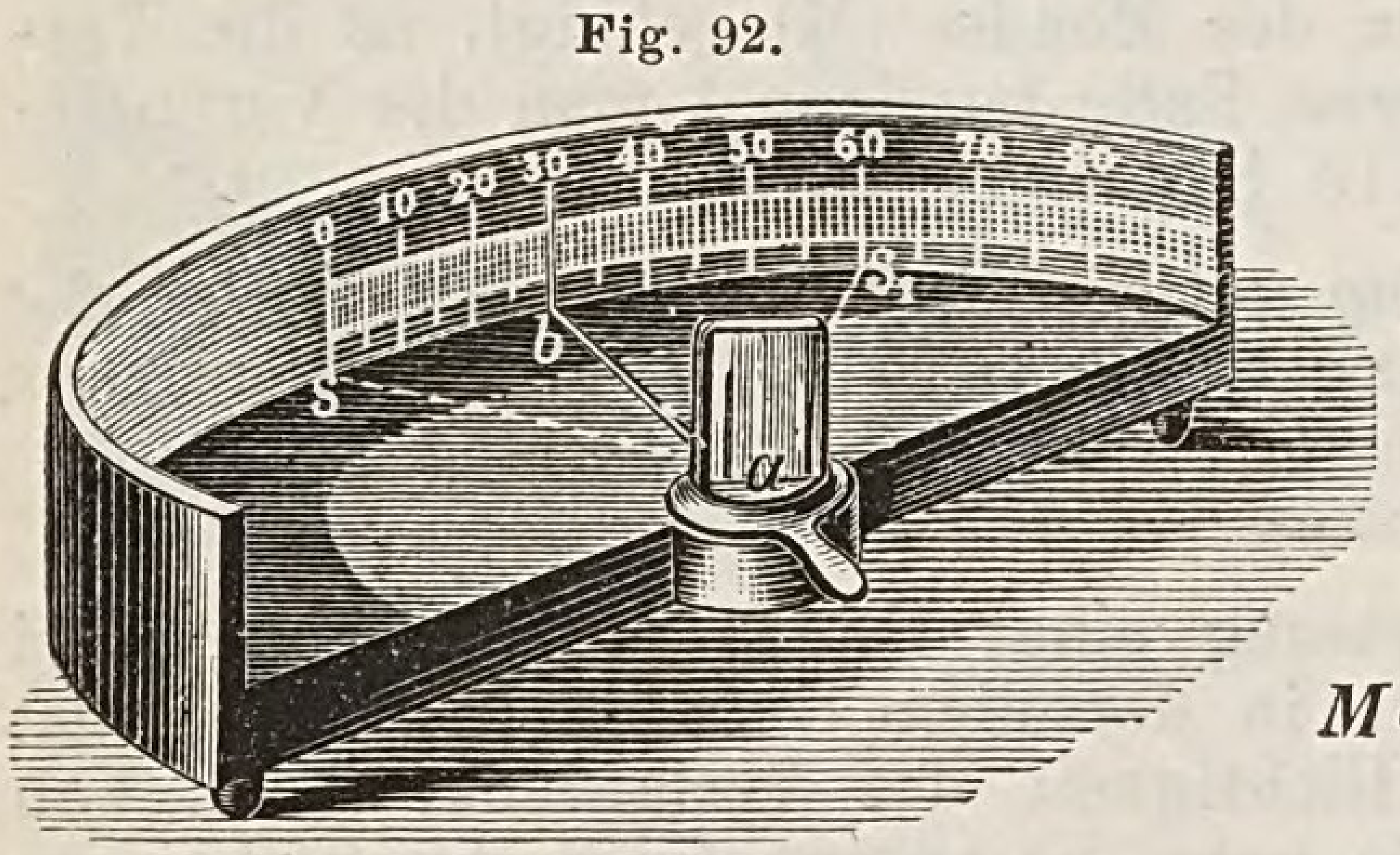
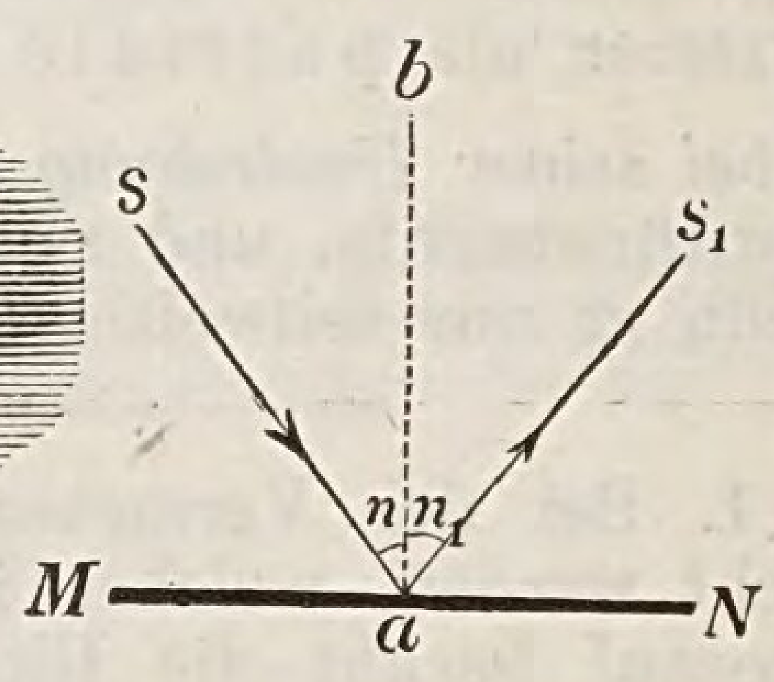


Fig. 93.



Der vom Einfallsstrahle und dem Einfallslote gebildete Winkel (∢ sab) *wird* **Einfallswinkel,** *der zwischen dem Einfallslote und dem zurückgeworfenen Strahle liegende Winkel* (∢ bas_1) **Ausfallswinkel** *oder* **Reflexionswinkel** *genannt.*

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 98.

[1]) reflectĕre, zurückwenden.

Über die Zurückwerfung des Lichtes gilt folgendes Gesetz, dessen Richtigkeit durch alle Erscheinungen der Spiegelung bestätigt wird:

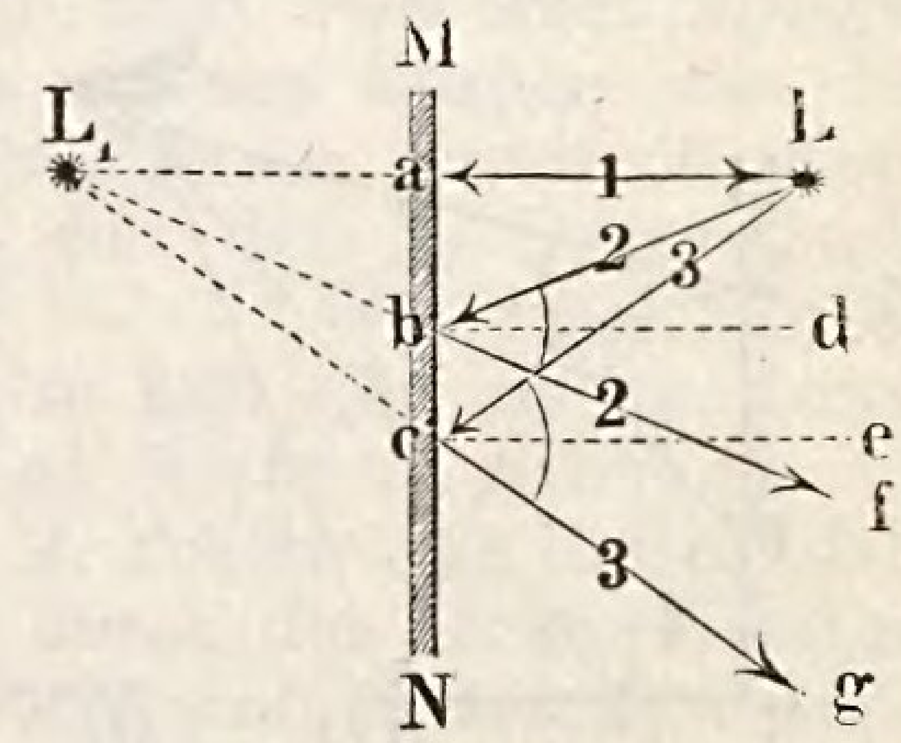
1. Der zurückgeworfene Strahl liegt in derselben Ebene, in welcher der einfallende Strahl und das Einfallslot liegen. 2. Der Ausfallswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Aus dem Versuche folgt ferner: Wird ein Spiegel um einen Winkel gedreht, so dreht sich das Bild um den doppelten Winkel.

Anwendung des Reflexionsgesetzes zur Bestimmung der Lage der Bilder.

L (Fig. 94) stelle einen leuchtenden Punkt und MN einen Spiegel dar, welcher von den drei Strahlen La, Lb und Lc getroffen werde; La treffe den Spiegel rechtwinklig, Lb und Lc in schräger Richtung. Die Geraden bd und ce seien die zu den beiden letzteren Strahlen gehörigen Einfallslote, bf und cg die dazu gehörigen zurückgeworfenen Strahlen.

Fig. 94.



Der Strahl La geht nach seinem Ausgangspunkte zurück; warum? — Lb wird nach dem 1. Teile des Reflexionsgesetzes so zurückgeworfen, dafs bf mit Lb und bd in derselben Ebene liegt. In dieser Ebene liegt auch Le; warum? Folglich müssen die geradlinigen Verlängerungen der beiden Strahlen La und fb sich hinter dem Spiegel schneiden. Dieser Schnitt sei L_1. — Nach dem 2. Teile des Reflexionsgesetzes ist $\sphericalangle$ dbf = Lbd. Hieraus läfst sich schliefsen, dafs $\sphericalangle$ abL_1 = abL; warum? Da nun auch $\sphericalangle$ baL_1 = baL (als Rechte) und ab = ab, so ist $\triangle L_1ab \cong Lab$; folglich $L_1a = La$. — Beweis für Lc!

Da nun ein leuchtender Punkt von unserem Auge immer in derjenigen Richtung wahrgenommen wird, in welcher die von ihm ausgehenden Strahlen ins Auge gelangen, so mufs uns der Punkt L in L_1 erscheinen, wenn das Auge von den zurückgeworfenen Strahlen bf, cg u. s. w. getroffen wird, d. h. alle von dem leuchtenden Punkte L ausgehenden Strahlen werden von dem Spiegel so zurückgeworfen, dafs sie von einem ebensoweit hinter demselben liegenden Punkte L_1 (dem **Bildpunkte**) herzukommen scheinen.

Fig. 95.

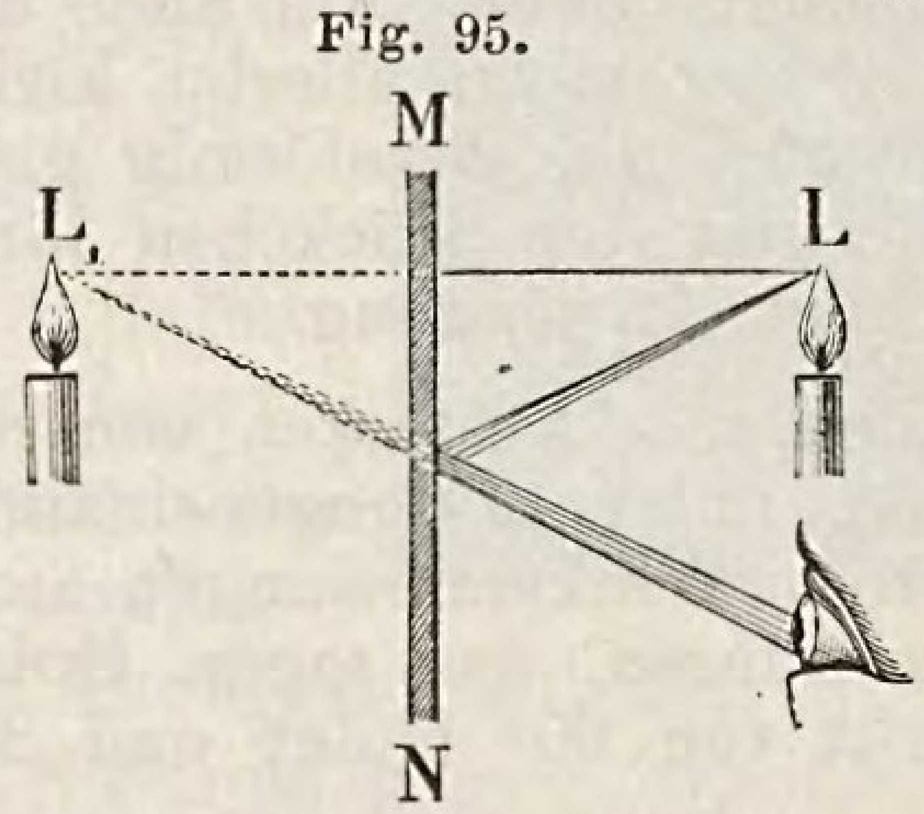
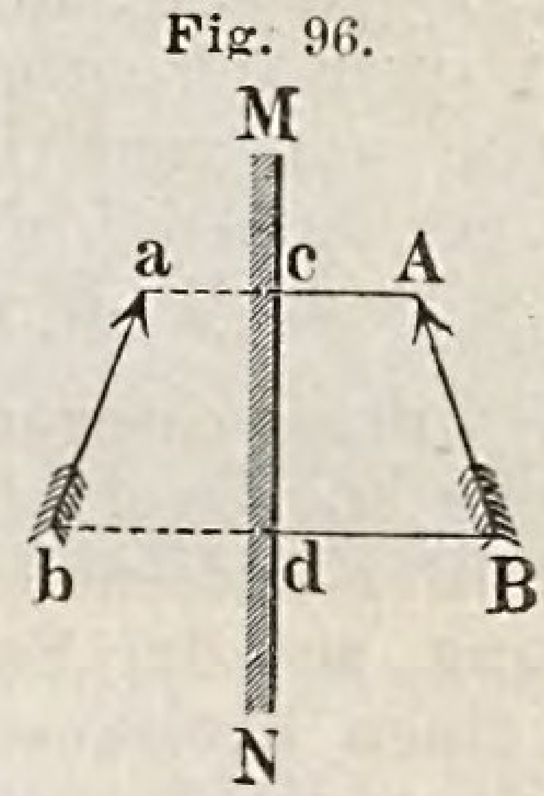


Fig. 96.



Die Verbindungslinie beider Punkte steht senkrecht zur Ebene des Spiegels. Befände sich statt des Punktes ein Gegenstand vor dem Spiegel (Fig. 95 und 96), so würde sich nach derselben Konstruktion für jeden einzelnen Punkt des Gegenstandes die Lage des Bildpunktes finden lassen. Die Vergleichung von Bild und Gegenstand zeigt,

dafs die rechte und die linke, die vordere und die hintere Seite vertauscht sind. (Bestätigung durch die Erfahrung!)

Bei einem **ebenen** oder **Planspiegel** erscheint das Bild eines Gegenstandes ebenso weit hinter der spiegelnden Fläche, als der Gegenstand vor derselben sich befindet. Bild und Gegenstand haben gleiche Gröfse und Gestalt, ihre Seiten sind vertauscht (symmetrisch).

Die durch ebene Spiegel entstehenden Bilder sind in Wirklichkeit nicht vorhanden und werden daher **scheinbare** *oder* **subjektive Bilder** *genannt.*

Erkläre die Entstehung der drei Bilder L_1, L_2 und L_3 des leuchtenden Punktes L (Fig. 97). Bestätigung durch den Versuch (Fig. 98).

Fig. 97.

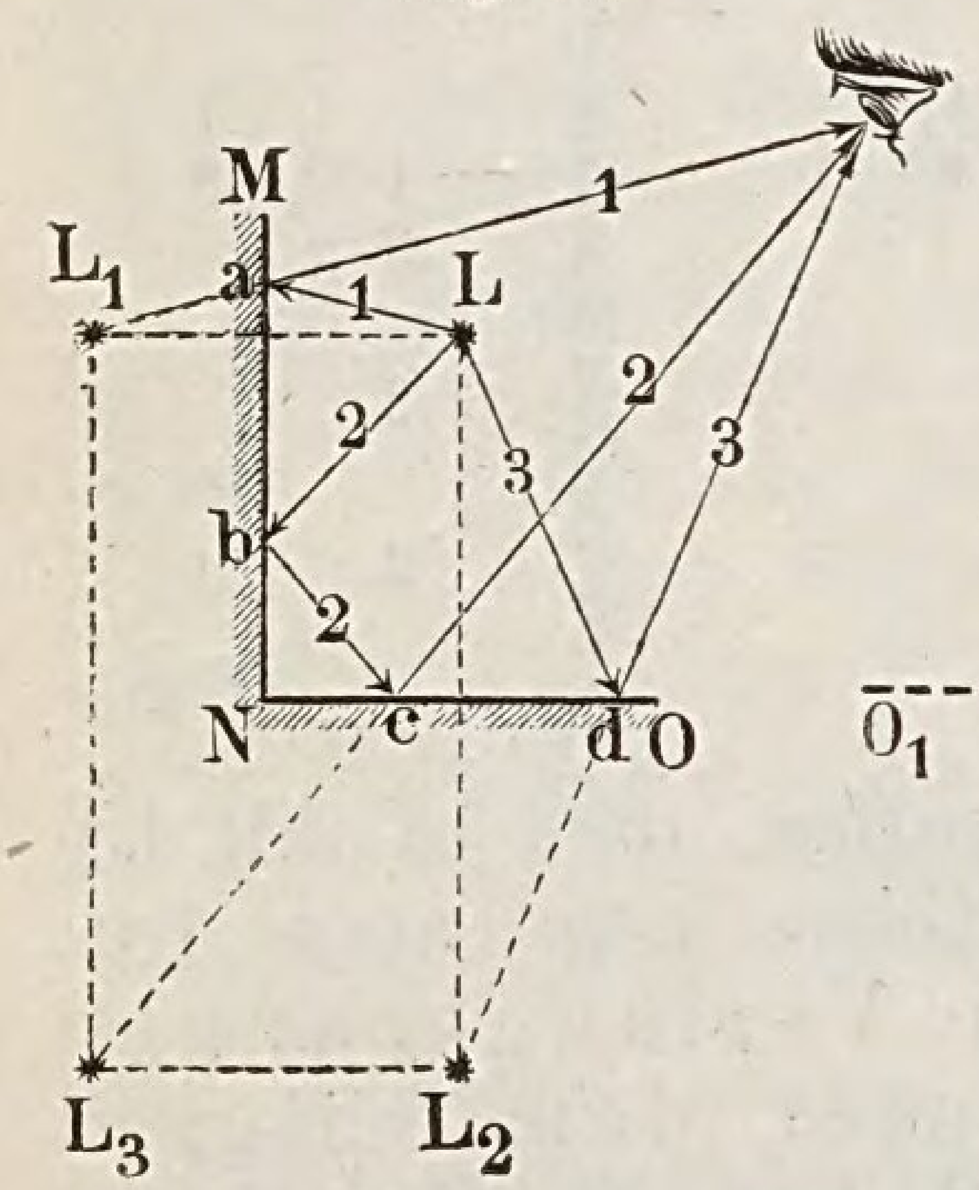


Fig. 98.

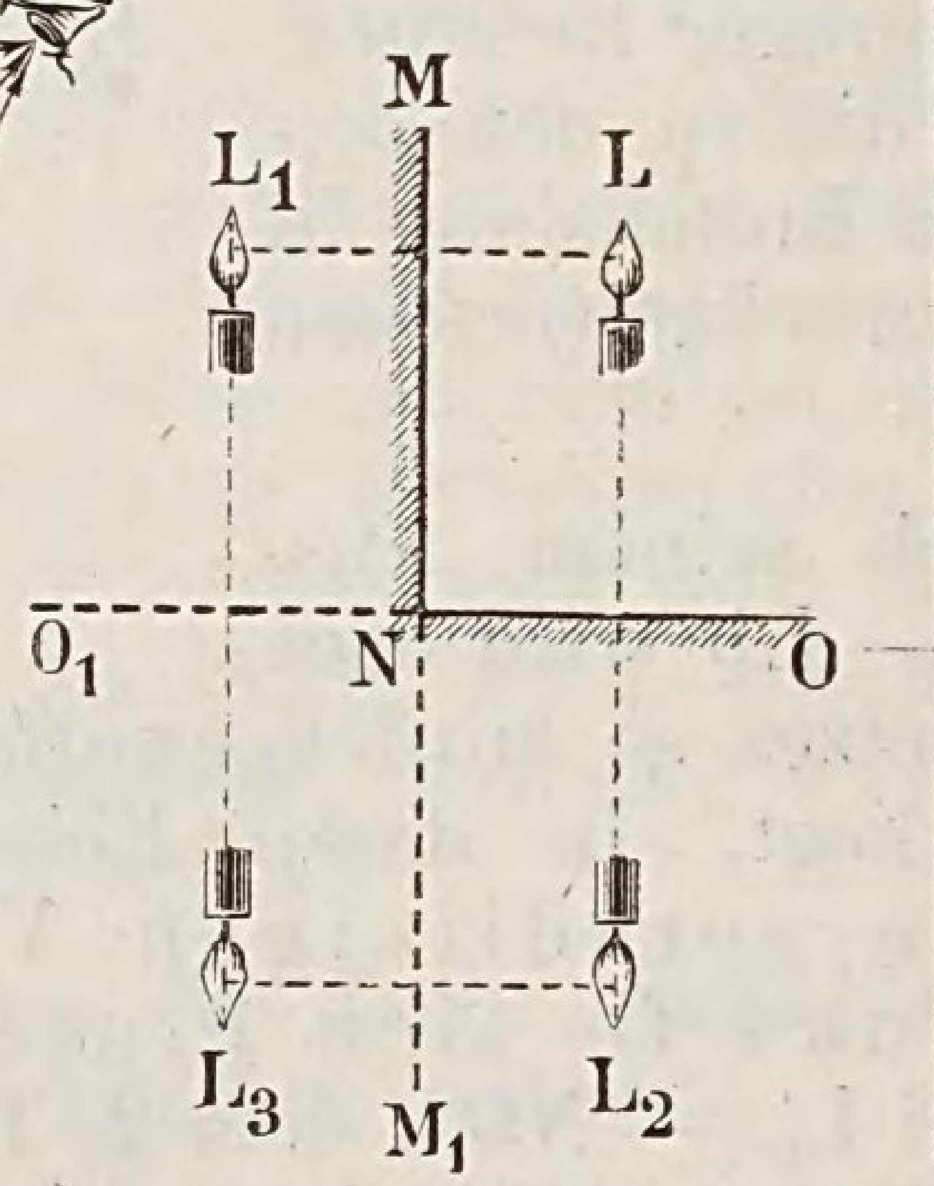
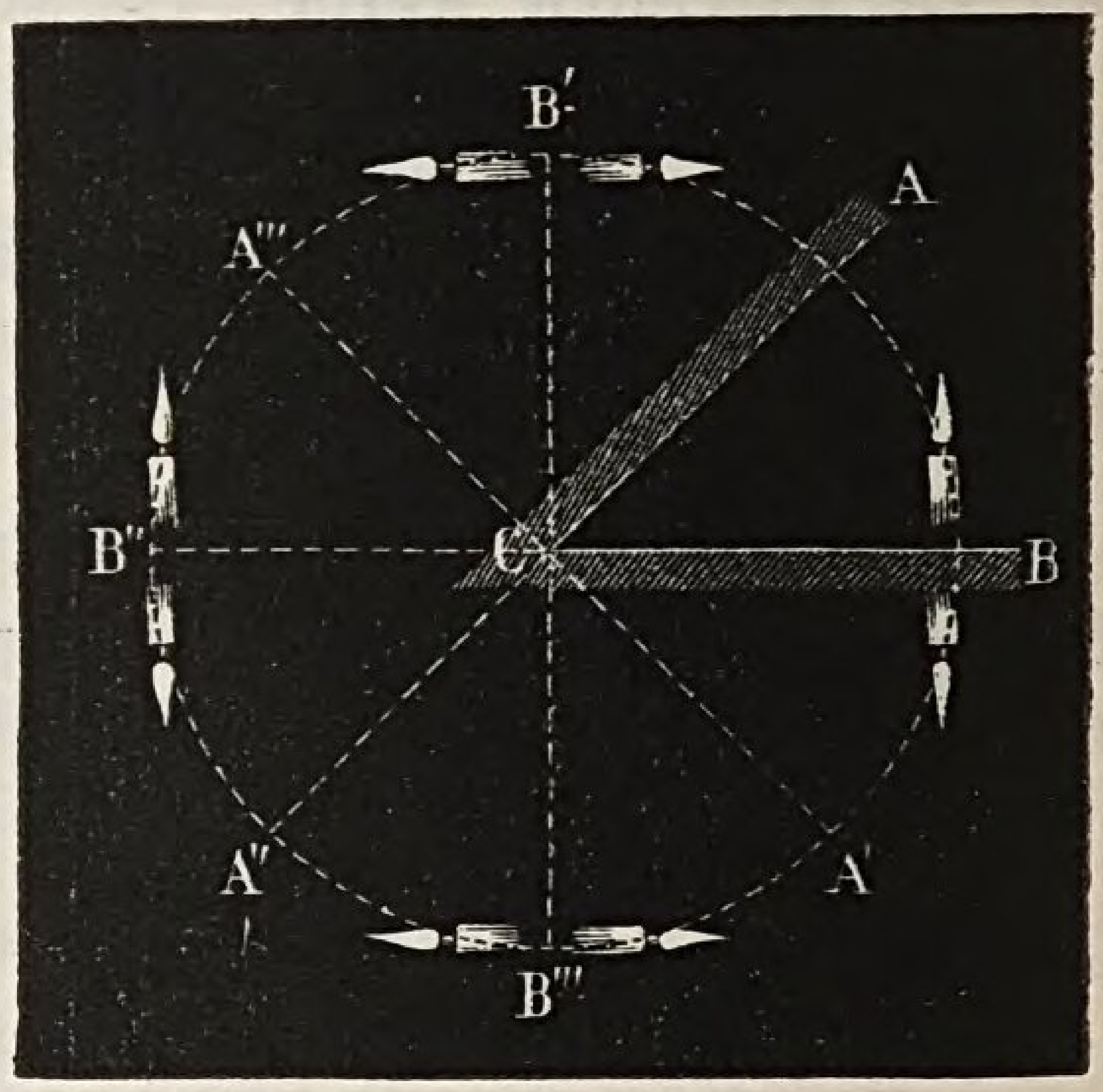


Fig. 99.



Durch zwei ebene Spiegel, welche einen Winkel einschliefsen, entstehen von einem zwischen ihnen befindlichen Gegenstande soviele Bilder, als der Winkel in 360° enthalten ist, weniger 1 (siehe Fig. 98 und 99). — *Parallele Spiegel erzeugen unendlich viele Bilder*, deren Sichtbarkeit wegen der wiederholten Reflexion immer geringer wird (vgl. Fig. 100, folg. Seite).

Die Entstehung regelmäfsig gruppierter Bilder durch Winkelspiegel hat zur Erfindung des **Kaleidoskops**[1]) oder Schönguckers geführt (1817). Dasselbe besteht aus einer Röhre, in welcher gewöhnlich zwei schmale Spiegel einen Winkel von 45°, 40°, 36° u. s. w. miteinander bilden. Am Ende dieser Spiegel befinden sich zwischen zwei quer gerichteten Glasscheiben allerlei kleine, gefärbte Glasstückchen u. dgl., welche von vorn betrachtet als sternförmig geordnete Figuren erscheinen, die bei der geringsten Verschiebung der Stückchen ihre Form ändern. Das Kaleidoskop findet beim Musterzeichnen Anwendung.

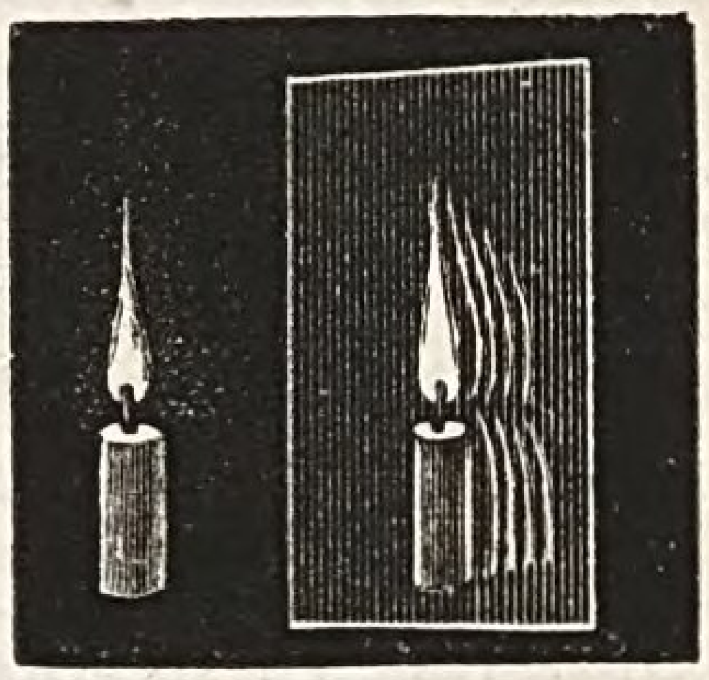
Feldmesser wenden zum Abstecken von rechten Winkeln **Winkelspiegel** an, welche aus zwei kleinen, unter 45° gegeneinander geneigten Spiegeln bestehen. — Seefahrer bedienen sich zu Winkelmessungen am Himmel, welche sie zu ihrer Orientierung auf der See ausführen, des sogen. **Spiegelsextanten,** eines Instrumentes, das einen Kreisausschnitt von 60° bildet und 2 kleine Spiegel enthält, von denen der eine drehbar ist.

Die allgemeinste Anwendung findet die Reflexion des Lichtes im täglichen Leben durch die gewöhnlichen Glasspiegel. Bei denselben spiegelt sowohl die vordere, als auch die hintere Seite des Glases. Letz-

[1]) καλός (kalós), schön, εἶδος (eidos), Gestalt, und σκοπέω (skopeo), schaue.

tere ist mit Zinnamalgam (Zinn und Quecksilber) belegt und ruft das eigentliche Bild hervor. Geht von einem Gegenstande viel Licht aus (Flamme, glühende Kohle u. dgl.) und ist die Spiegelplatte hinreichend dick, so sind mehrere Bilder sichtbar, da jedes Bild für die andere spiegelnde Fläche wieder zum Gegenstande wird (Fig. 100). — Metallspiegel (polierte Metallplatten) erzeugen nur ein Bild.

Fig. 100.

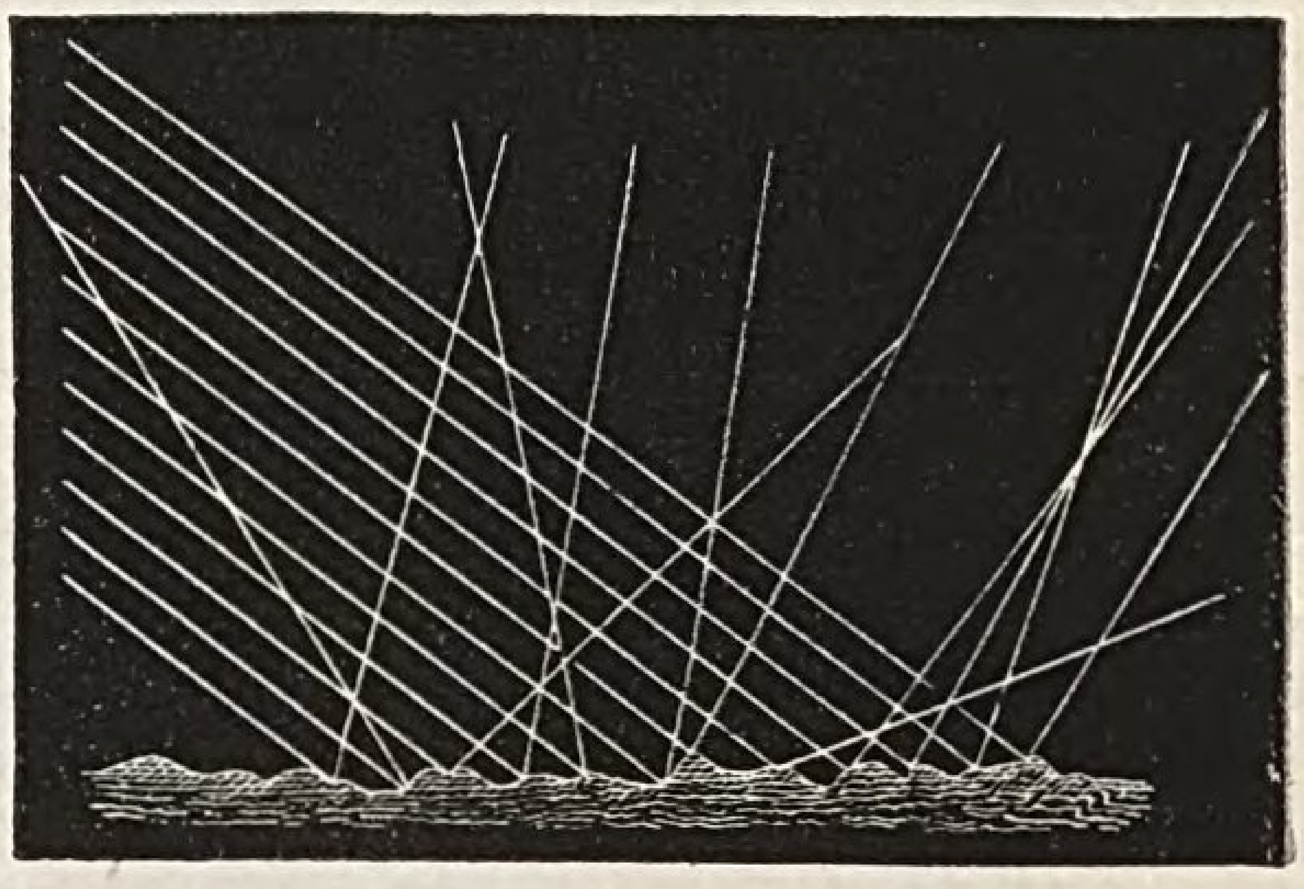


Die Benutzung des Amalgams als Spiegelbelag stammt aus dem 14. Jahrhundert.

Übungsstoff. 1. Warum zeigen Fensterscheiben nur bei tiefem Sonnenstande einen starken (feurigen) Glanz? — 2. Welche Stellung mufs der Beobachter zur Sonne und Fensterscheibe einnehmen, damit jene Ersch. eintritt? — 3. Durch welche Änderungen der Stellung a. des Beobachters, b. der Scheibe kann die Ersch. verschwinden? — 4. Angenommen, der Spiegel, Fig. 92, sei zunächst um 5⁰ und darauf um 15⁰ gedreht. Um wv. würde sich dann der Lichtstreifen jedesmal gedreht haben? — 5. Um wv. Grad mufs man einen Spiegel aus seiner senkrechten Lage drehen, damit das Bild des eigenen Körpers aus der senkrechten in die wagerechte Lage übergeht; um wv. Grad ferner, damit der Kopf des Bildes nach unten gerichtet ist? — 6. Wie erklärt es sich, dafs die Gegenstände am Ufer eines Gewässers im W. umgekehrt erscheinen? — 7. Wie mag es sich erklären, dafs diese Bilder bei gleicher Beleuchtung nicht so hell sind als die durch Glasspiegel erzeugten Bilder? — 8. Woran ist es ohne Lot leicht zu erkennen, ob ein sehr nahe am W. stehendes Gebäude schief steht? — 9. Erkläre die Ersch., dafs man das Bild einer brennenden Lampe vom Zimmer aus durch die Fensterscheiben hindurch aufserhalb des Zimmers sehen kann. — 10. Worin hat es seinen Grund, dafs derartige Bilder bedeutend matter erscheinen als gewöhnliche Spiegelbilder? — 11. Welcher Täuschung ist man ausgesetzt, wenn hinter Schaufenstern im Hintergrunde Spiegelglas und seitlich 2 parallele Spiegel angebracht sind? — 12. Wie ist es zu bewirken, dafs die hinter Schaufenstern wagerecht liegenden Gegenstände senkrecht erscheinen? — 13. Wie läfst sich die Dicke von Spiegelglas mit Hülfe einer gegen den Spiegel gehaltenen Messerspitze oder dergl. bestimmen? — 14. Wie läfst sich die Entstehung der Bilder durch Planspiegel aus den beiden Reflexionsgesetzen ableiten?

§ 28. Zerstreuung des Lichtes. Morgen- und Abenddämmerung. Wenngleich wir bei Körpern mit unebenen Flächen diejenigen Lichterscheinungen, welche glatte Flächen hervorrufen, niemals wahrnehmen, so müssen wir doch schliefsen, dafs auch sie Lichtstrahlen zurückzuwerfen vermögen (warum?). Da die zahlreichen kleinen Oberflächen der Unebenheiten solcher Körper die verschiedensten Richtungen haben, so kann dabei die Zurückwerfung nicht mit der Regelmäfsigkeit erfolgen, mit welcher die Strahlen durch glatte Flächen reflektiert werden (Fig. 101). Welche Richtung würden die in der Figur dargestellten Strahlen nach ihrer Reflexion gegeneinander einnehmen, wenn die Fläche glatt und eben wäre?

Fig. 101.



Unebene Flächen werfen das Licht nach allen Seiten zurück und zerstreuen es also: **Unregelmäfsige Zurückwerfung** oder **Zerstreuung des Lichtes.**

Durch die unregelmäfsige Zurückwerfung des Lichtes werden uns Körper mit unebenen Flächen von allen Seiten sichtbar, während spiegelnde Flächen um so weniger gesehen werden können, je glatter sie sind, und dann nur durch starke Spiegelung oder durch ihre Umrahmung erkannt werden.

Auch in der Luft findet eine Zerstreuung des Lichtes statt. Hierauf beruht die Entstehung der **Morgen-** und **Abenddämmerung,** d. h. *derjenigen Erscheinung, dafs die Helligkeit vor dem Aufgange der Sonne allmählich zu-, nach dem Untergange der Sonne allmählich wieder abnimmt.* Wenn nämlich die Sonne so tief unter dem Horizonte steht, dafs ihre Strahlen unser Auge nicht mehr direkt treffen können, so gelangt das Licht derselben dadurch zu uns, dafs die höheren Luftschichten davon getroffen werden und die darin schwebenden Staub- und Wasserteilchen (Nebel, Wolken), sowie die Luftteilchen selbst das Licht nach verschiedenen Seiten hin zurückwerfen. Dies ist jedoch nur solange möglich, als die Sonne sich nicht über 18⁰ unter dem Horizonte befindet. Bis zu dieser Grenze ist die Beleuchtung offenbar um so schwächer, je tiefer die Sonne unter dem Horizonte eines Ortes steht, denn um so mehr gehen die Strahlen über die am besten reflektierenden dichteren Luftschichten des Ortes hinweg. Ohne diese Wirkung der Atmosphäre würde der helle Tag sich plötzlich in finstere Nacht verwandeln und umgekehrt.

Die Dauer der Dämmerung ist nicht überall auf der Erde gleich. Am Äquator, wo die Sonne zweimal im Jahre senkrecht, sonst nahezu in senkrechter Richtung über den Horizont hinaufsteigt und unter denselben hinabsinkt, währt die Dämmerung bei der dortigen nächtlichen Klarheit des Himmels nur sehr kurze Zeit. Die kürzeste Dämmerung fällt hier mit den Tag- und Nachtgleichen zusammen. Nach den Polen hin dauern die Dämmerungen immer länger, namentlich weil der Winkel, welchen der tägliche Lauf der Sonne beim Auf- und Untergange mit dem Horizonte bildet, polwärts immer kleiner wird und die Sonne also länger in der Nähe des Horizontes verweilt. Die Zeiten der kürzesten Dämmerung entfernen sich hier immer weiter von der Tag- und Nachtgleiche. Während ferner am Äquator das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht schnell ineinander übergehen, dauert in unseren Gegenden die Dämmerung zur Zeit der längsten Sommertage die ganze Nacht hindurch und am Pole solange, dafs die Polarnacht dadurch fast um 100 Tage abgekürzt wird.

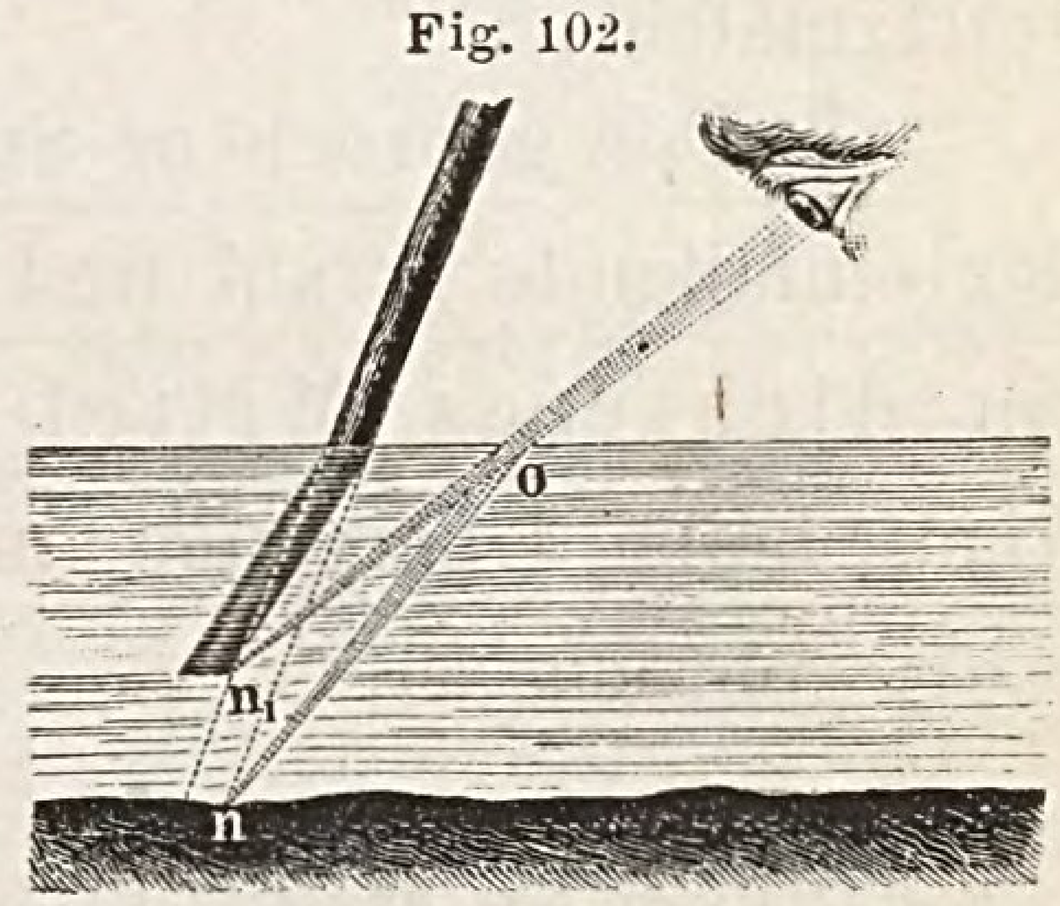
Die unregelmäfsige Reflexion des Sonnenlichtes befördert am Tage eine gleichmäfsige Verbreitung der Helligkeit. Dadurch werden namentlich bei direkter Beleuchtung die Gegensätze zwischen Licht und Schatten gemildert. Auf sehr hohen Bergen treten diese Gegensätze wegen der gröfseren Reinheit der Luft weit mehr hervor als in tiefer gelegenen Gegenden.

Übungsstoff. 1. Wann ist eine Eisfläche kaum, und wann sehr deutlich sichtbar? Erkläre beides? — 2. Warum werden in Neubauten die Fensterscheiben mit Kalk bespritzt? — 3. Warum kann ein Gemälde bei derselben Beleuchtung nicht von allen Seiten gleichdeutlich gesehen werden? — 4. Inwiefern kann die Himmelsgegend, nach welcher ein Zimmer liegt, einen Einflufs auf die Sichtbarkeit der an den Wänden aufgehängten Bilder ausüben? Beispiele! — 5. Wie läfst sich durch ein Blatt weifsen Papiers beim Lesen während der Dämmerung die Deutlichkeit der Schrift erhöhen? — 6. Man stelle sich vor, alle Gegenstände in einem Zimmer reflektierten das Licht regelmäfsig. Welche Erschn. würden dadurch bei direktem Sonnenlichte und bei Lampenbeleuchtung entstehen, und wie würde dies dauernd auf unsere Augen wirken? — 7. Welchen Vorteil gewährt hiernach die unregelmäfsige Reflexion des Lichtes in der Natur? — 8. In welcher Weise müfste morgens und abends Hell und Dunkel wechseln, wenn in den höheren Luftschichten keine Zerstreuung des Lichtes stattfände? — 9. Inwiefern kann man sagen, dafs durch die Atmosphäre die Tage verlängert werden? — 10. Welchen Einflufs übt die

geogr. Lage eines Ortes hierauf aus? Grund! — **11.** Welche Unterschiede zeigen Licht und Schatten bei klarem und bei bewölktem Himmel? — **12.** In unseren Wohnzimmern ist bisweilen eine Ersch. wahrzunehmen, aus welcher man schliefsen kann, dafs Sonnenstrahlen durch Staubteilchen zurückgeworfen werden. Welche Ersch.? — **13.** Wenn nach andauernder Dürre starker Regen eintritt und der Himmel bald darauf klar wird, so erscheint der Horizont schärfer begrenzt, und die Gegensätze zwischen Licht und Schatten treten stärker hervor als sonst. Erkl.! — **14.** Im Hochgebirge kommt es oft vor, dafs die Firsten der Berge in hellem Glanze strahlen, während in den Thälern bereits dunkle Nacht herrscht. Erkl.!

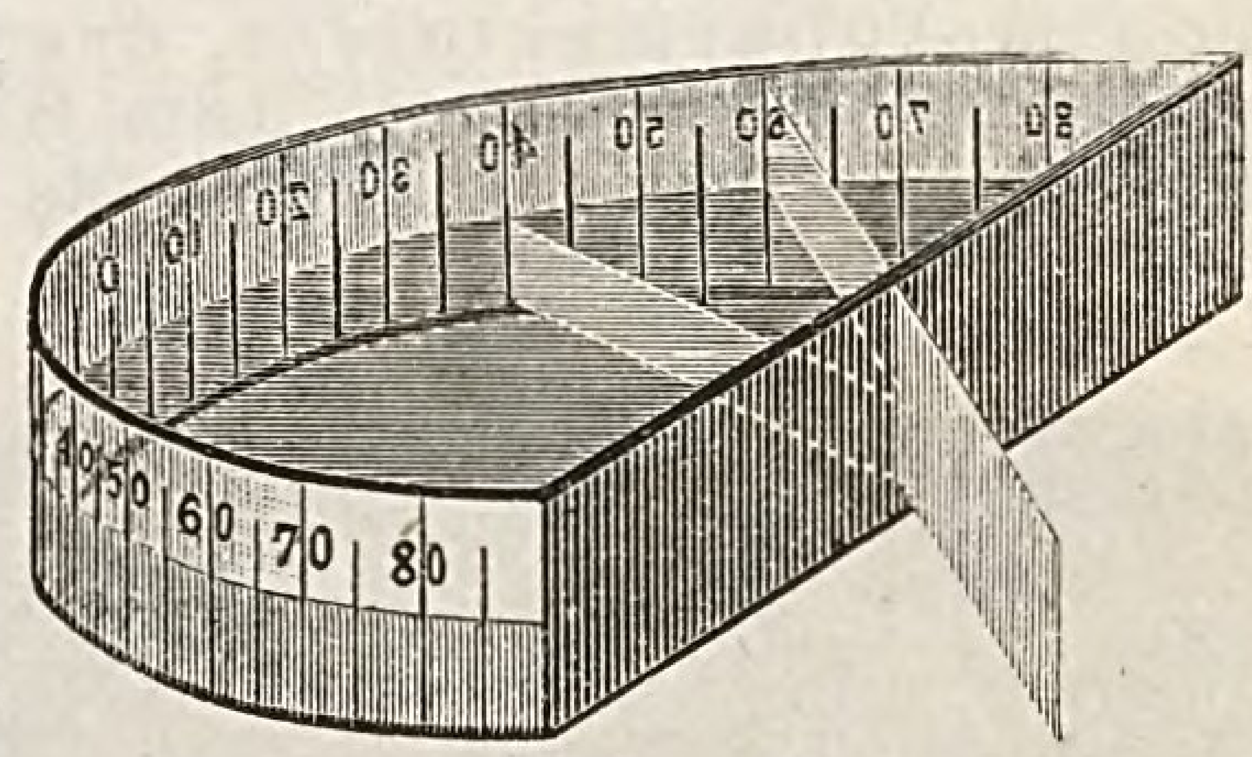
§ 29. Brechung des Lichtes.*) Atmosphärische Strahlenbrechung. Die bekannte Erscheinung, dafs ein schräg in Wasser stehender gerader Stab geknickt aussieht (Fig. 102), hat eine gewisse Ähnlichkeit mit den durch Spiegelung hervorgerufenen Erscheinungen. Denn man sieht den eingetauchten Teil des Stabes an einer anderen Stelle, als an welcher er sich wirklich befindet, wie in einem Spiegel die vor demselben befindlichen Gegenstände an Orten erscheinen, wo sie in Wirklichkeit nicht vorhanden sind. Da nun Spiegelbilder dadurch entstehen, dafs die von den Gegenständen ausgehenden Lichtstrahlen in veränderter Richtung in unser Auge gelangen, so liegt der Gedanke nahe, dafs auch jene Erscheinung durch eine Richtungsänderung derjenigen Strahlen hervorgerufen werde, welche von dem gebrochen erscheinenden Teile des Stabes aus in unser Auge gelangen. Dies wird durch folgenden Versuch bestätigt:

Fig. 102.



Versuch. Läfst man in ein halb mit Wasser gefülltes, halbkreisförmiges Glasgefäfs (Fig. 103), dessen gebogene Wand matt geschliffen und dessen ebene Wand bis auf einen schmalen Spalt undurchsichtig ist, etwa von einer Kerzenflamme Lichtstrahlen eindringen, so entsteht auf dem Gradbogen *in und über dem Wasser ein heller Lichtstreifen.* Beide Streifen liegen *geradlinig übereinander,* wenn die Strahlen *rechtwinklig* einfallen; sie *entfernen sich jedoch umsomehr voneinander,* je *schräger* man die Strahlen einfallen läfst, und zwar bleibt der untere Lichtstreifen dabei hinter dem oberen zurück.

Fig. 103.



Lichtstreifen werden demnach bei schrägem Eintritte aus Luft in Wasser *nach dem Einfallslote hin* abgelenkt. — Denkt man sich, aus dem Wasser gingen Lichtstrahlen (in der Richtung des unteren hellen Streifens der Figur) durch den Spalt nach aufsen, so würden sie beim Übergange in die Luft umgekehrt *vom Einfallslote weg* abgelenkt werden. (Wende dies auf Fig 102 an.)

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 98 u. ff.

Die Ablenkung, welche Lichtstrahlen erleiden, wenn sie aus einem Mittel in ein anderes übergehen, nennt man **Brechung.** — *Die beiden Winkel, welche der einfallende und der gebrochene Strahl mit dem Einfallslote bilden, werden als* **Einfalls-** *und* **Brechungswinkel** *bezeichnet.* — Versuche über Lichtbrechung lehren allgemein:

Gehen Lichtstrahlen aus einem Mittel in ein anderes über, so werden sie von ihrer ursprünglichen Richtung um so stärker abgelenkt, je schräger sie die Trennungsfläche beider Mittel treffen; senkrecht einfallende Strahlen erleiden keine Brechung.

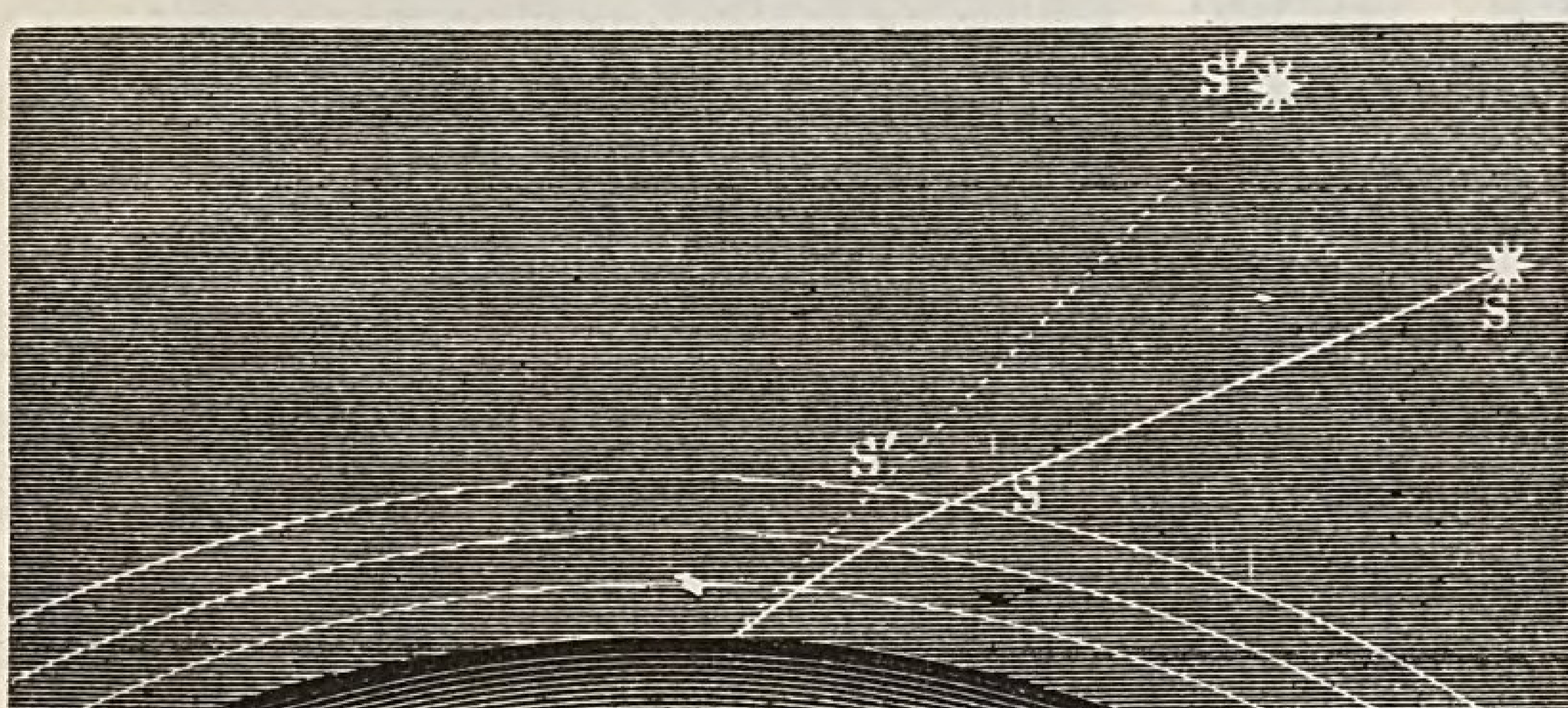
Die Lichtbrechung erfolgt wie die Zurückwerfung des Lichtes gesetzmäfsig:

1. Der gebrochene Strahl liegt in derselben Ebene, in welcher der einfallende Strahl und das Einfallslot liegen. 2. Beim Übergange in ein dichteres Mittel werden Lichtstrahlen nach dem Einfallslote hin, beim Übergange in ein dünneres Mittel vom Einfallslote weg gebrochen.

Ob ein Stoff für den Durchgang von Lichtstrahlen als dichter (optisch dichter) zu bezeichnen ist, läfst sich nicht immer nach dem spec. Gewichte beurteilen. So wird das Licht z. B. durch Glas stärker gebrochen als durch Wasser und durch Wasser stärker als durch Luft; Wasser vermag jedoch die Lichtstrahlen nicht so stark zu brechen als manche andere (brennbare) Flüssigkeiten, wie z. B. Weingeist und Öle, obgleich diese Stoffe specifisch leichter sind als Wasser. Manche brennbare Flüssigkeiten brechen das Licht sogar noch stärker als gewöhnliches Glas, z. B. Schwefelkohlenstoff. — Durch die Luft wird das Licht um so stärker gebrochen, je dichter sie ist.

Durch die Brechung, welche das Licht der Gestirne in der Erdatmosphäre erleidet, erscheinen uns die Gestirne um so mehr gehoben, je näher sie dem Horizonte stehen (**atmosphärische Strahlenbrechung,** (Fig. 104). Indem die Lichtstrahlen aus dem Weltraume in die Erdatmosphäre eintreten, werden sie nach dem Einfallslote hin gebrochen. Da nun die Dichtigkeit der Luft nach der Erdoberfläche hin allmählich zunimmt, so wiederholt sich die Brechung unzählige Male. Aus dem geraden Lichtstrahl wird somit ein gekrümmter Strahl, welcher seine hohle Seite der Erde zuwendet. Wird unser Auge von solchen Strahlen getroffen, so erblicken wir das Gestirn in der geradlinigen Verlängerung des in das Auge fallenden Strahlenteiles, mithin an einem höheren Punkte (S_1), als an welchem es sich befindet. Je schräger die Strahlen in die Atmosphäre einfallen, um so mehr erscheint demnach das Gestirn gehoben. — Hierdurch wird der Aufgang der Sonne ein wenig verfrüht, der Untergang verspätet, die Tagesdauer also ein wenig verlängert. Diese Verlängerung

Fig. 104.



beträgt in unseren Gegenden nur einige Minuten, in den Polargegenden sogar mehrere Tage. Sonne und Mond erscheinen infolge der Strahlenbrechung dicht am Horizonte nicht vollständig kreisrund, sondern von oben nach unten abgeplattet, da der untere Rand dieser Himmelskörper mehr gehoben wird als der obere, während der wagerechte Durchmesser derselbe bleibt.

Weit entfernte irdische Gegenstände erscheinen infolge der atmosphärischen Strahlenbrechung bisweilen auffällig gehoben. So sieht man z. B. bei Hastings (spr. Hehstings) in England zuweilen die über zehn Meilen entfernte französische Küste, bei Reggio (spr. Redscho) in Calabrien die Küste von Sicilien mit in der Luft schwankenden Palästen, Ruinen u. dgl., während bei gewöhnlicher Luftbeschaffenheit diese Küsten nicht sichtbar sind, da sie unter dem Horizont liegen. Derartige Erscheinungen, welche mit plötzlichem Wechsel der Luftzustände sich oft zauberhaft schnell ändern, wurden einer Fee zugeschrieben, daher ihr Name: **Fata morgana**; an der deutschen Nordseeküste bezeichnet man diese Wirkungen der atmosphärischen Strahlenbrechung als **Kimmung**. — Wegen der atm. Strahlenbrechung ist für alle hohen Punkte der Erde die Sehweite ungefähr $\frac{1}{15}$ gröfser, als sie bei geradliniger Fortpflanzung der Lichtstrahlen sein würde.

Aufser den bereits angeführten erklären sich aus der Brechung des Lichtes noch zahlreiche andere Täuschungen. So scheint uns z. B. jedes klare Gewässer, dessen Boden wir sehen können, flacher zu sein, als es wirklich ist; Kähne und Schiffe erscheinen, von aufsen durch das Wasser hindurch betrachtet, weniger tief, als sie sind; Fische scheinen dem Wasserspiegel näher zu sein u. s. w. Bewegt sich die Oberfläche eines Gewässers, so scheinen die darin befindlichen Gegenstände zu schwanken. Über einem offenen Feuer, stark geheizten Öfen u. dgl. scheint die Luft zu zittern; an heifsen Sommertagen zeigt sich diese Erscheinung bisweilen auch über Dächern und dürrem Boden. Auch das Funkeln oder Zittern der Fixsterne hat seinen Grund in der Strahlenbrechung; es ist besonders stark bei gewissen Luftzuständen und bei solchen Sternen, die in der Nähe des Horizontes stehen.

Im täglichen Leben findet die Lichtbrechung eine sehr nützliche Anwendung bei den Instrumenten, welche den Zweck haben, das Sehvermögen des Menschen zu erhöhen (Brillen, Vergröfserungsgläser, Fernrohre u. dgl.).

Übungsstoff. 1. Worin stimmen Brechung und Reflexion des Lichtes überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — 2. Woraus kann man schliefsen, dafs von den auf W. fallenden Sonnenstrahlen ein Teil zurückgeworfen wird, ein anderer aber in das W. eindringt? — 3. Aus der Sichtbarkeit im W. untergetauchter K. läfst sich schliefsen, dafs wenigstens ein Teil des in das W. eingedrungenen Lichtes wieder zurückkommt; inwiefern? — 4. Wird die Richtung der schräg gegen die Wasserfläche fallenden Strahlen eine steilere oder flachere, wenn letztere a. in das W. eintreten, b. aus dem W. austreten, und wovon hängt die Stärke dieser Richtungsänderung ab? — 5. Welche Ersch. stellt Fig. 105 dar? (n sei eine Münze.) Erkl.! — 6. Das Gefäfs werde bei Betrachtung der Münze a. mit W. gefüllt, b. etwa mit einem Saugheber wieder geleert. Wie ändert sich die Ersch.? — 7. Der Boden jenes Gefäfses bestehe aus Glas und sei bis auf eine kleine Öffnung aufsen mit undurchsichtigem Papier beklebt; das W. sei durch Kreidestaub, einige Tropfen Milch, Seife oder dergl. ein wenig getrübt, und der durch ein Blatt Papier verdeckte Raum über dem W. enthalte ein wenig Rauch. Welche Ersch. würde sich dann zeigen, wenn man von unten recht helles Lampenlicht in das W. eintreten liefse? — 8. Angenommen, das Gefäfs, Fig. 103, werde zunächst mit W. und darauf mit Weingeist oder Terpentinöl gefüllt. Welche Erschn. wird man dann nach dem spec. Gew. dieser Flgkn. leicht erwarten, und welche treten ein? — 9. Um Fische im W. zu schiefsen, zu stechen oder zu greifen, mufs die Lichtbrechung beachtet werden; inwiefern ist hierbei a. auf die Richtung, b. auf die Tiefe, in wel-

Fig. 105.



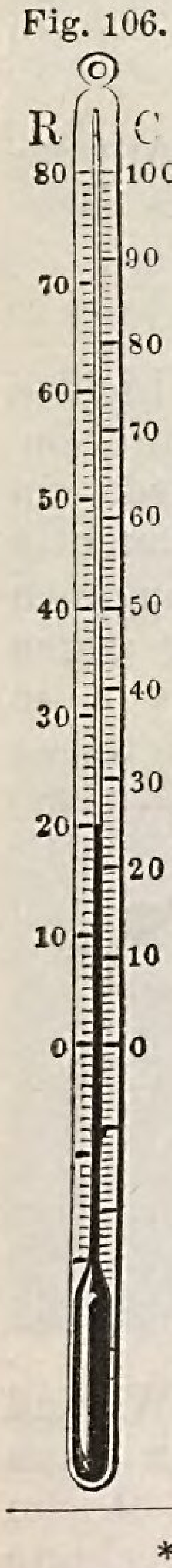
cher man die Fische im W. sieht, Rücksicht zu nehmen? — 10. Wie werden die Räder eines etwa bis an die Achsen in ruhigem und klarem W. stehenden Wagens aussehen, wenn man sie von der Seite betrachtet, u. w.? — 11. Welche Änderung wird man wahrnehmen können an der Gestalt der Hand, wenn man sie senkrecht in W. taucht, am ganzen K., wenn man beim Baden immer tiefer ins W. hineingeht? Erkl.! — 12. Wie mufs ein auf die Erde gelangender Sonnenstrahl die Atm. treffen, um seine ursprüngliche Richtung beizubehalten? — 13. Angenommen, es sollte der Winkel gemessen werden, welchen eine gerade Linie, die man sich vom Auge bis zu einem Stern gezogen denkt, mit der Horizontalen bildet. Inwiefern ist hierbei die Gröfse des durch die Lichtbrechung entstehenden Beobachtungsfehlers von der Stellung des Gestirns abhängig?

V. Abschnitt.

Von der Wärme.

A. Wirkungen der Wärme.

Fig. 106.



§ 30. Wärmeempfindung. Thermometer.*) Mitteilung der Wärme. Wenn man einen festen Körper berührt, so hat man aufser dem Gefühle, dafs er hart oder weich, rauh oder glatt u. s. w. ist, häufig noch eine andere Empfindung, nach welcher man den Körper als heifs, warm, kühl oder kalt bezeichnet. Dieselbe Empfindung können auch flüssige und luftförmige Körper in uns hervorrufen: wir sprechen z. B. von warmem und kaltem Wasser, von warmer und kalter Luft.

Die nicht wahrnehmbare Ursache, durch welche diese Empfindungen in uns hervorgerufen werden, heifst **Wärme.**

Wie warm oder kalt ein Körper ist, läfst sich durch das Gefühl nur annähernd richtig beurteilen. Tauchen wir z. B. die Hand in lauwarmes Wasser, so erscheint uns dasselbe w a r m, wenn die Hand kälter, hingegen k a l t, wenn sie wärmer war als das Wasser. Zur genauen Bestimmung des Wärmegrades dienen Instrumente, welche T h e r m o m e t e r[1]) oder W ä r m e m e s s e r genannt werden. Am gebräuchlichsten sind Quecksilberthermometer.

Ein **Quecksilberthermometer** (Fig. 106) besteht aus einer sehr engen und überall gleichweiten *Glasröhre,* welche an einem Ende zu einem kugeligen oder cylindrischen Gefäfse aufgeblasen und deren anderes Ende zugeschmolzen ist. Das Gefäfs und ein Teil der Röhre sind mit *Quecksilber* gefüllt, der übrige Teil der Röhre ist luftleer. Auf oder neben der Röhre (auf Holz, Metall oder dergl.) befindet sich zum Ablesen des Wärmegrades eine

*) Vgl. II. Lehrstufe. § 117.

[1]) θερμός (thermos), Wärme.

Skala, d. h. eine numerierte Teilung, in welcher zwei Punkte gewöhnlich durch die Buchstaben EP oder FP (Eispunkt oder Frierpunkt) und SP (Siedepunkt) besonders hervorgehoben sind. Bis zum ersteren Punkte sinkt das Quecksilber, wenn man das Thermometer in schmelzenden Schnee taucht, bis zum letzteren steigt es, wenn man die Dämpfe von kochendem Wasser auf das Thermometer einwirken läfst. Da von diesen Punkten die Teilung ausgeht, so werden sie als Fundamentalpunkte bezeichnet; ihr Abstand wird Fundamentalabstand genannt. Letzterer ist in eine bestimmte Anzahl gleicher Teile, Grade, geteilt.

Nach der Beschaffenheit der Skala unterscheidet man Thermometer nach Réaumur (spr. Reomür) und Celsius. Bei ersteren ist der Fundamentalabstand in 80, bei den letzteren in 100 Grade geteilt. Diese Teilung wird häufig noch über die Fundamentalpunkte hinaus fortgesetzt. Man zählt die Grade vom Eispunkte aus. Hier steht daher 0 (wonach der Eispunkt auch Nullpunkt heifst), während den Siedepunkt je nach der Skala die Zahl 80 oder 100 bezeichnet. Die Grade über 0 werden Wärmegrade, jene unter 0 Kältegrade genannt; erstere bezeichnet man durch ein vorgesetztes Pluszeichen (+), letztere durch ein Minuszeichen (—). Ein nachfolgendes R oder C giebt die Art der Skala an. — Was bedeutet hiernach: $+20^0$ C und -20^0 R?

Man gebraucht ein Thermometer in der Weise, dafs man den unteren, gefäfsförmigen Teil desselben mit dem zu untersuchenden Körper in Berührung bringt. Hierbei findet gewöhnlich ein Steigen oder Fallen des Quecksilbers in der Röhre statt, das solange andauert, bis der Wärmegrad bei beiden Körpern gleich ist. Die dann vom Quecksilberfaden angezeigte Zahl der Skala giebt den Wärmegrad oder die **Temperatur** des Körpers an.

Ein solcher Temperatur-Ausgleich tritt stets ein, wenn zwei Körper von verschiedener Temperatur einander lange genug berühren, wie sich durch das Thermometer leicht nachweisen läfst. Hierbei nimmt der kältere Körper von dem wärmeren solange Wärme auf, bis beide dieselbe Temperatur haben. (Füllen eines kalten Gefäfses mit heifser Flüssigkeit, Mischen von kaltem und heifsem Wasser, Ablöschen von glühendem Eisen durch Eintauchen in kaltes Wasser u. s. w.)

Die Temperatur der Körper ist veränderlich. — Wenn Körper von ungleicher Temperatur einander berühren, so findet eine Ausgleichung der Temperatur statt: **Mitteilung der Wärme.**

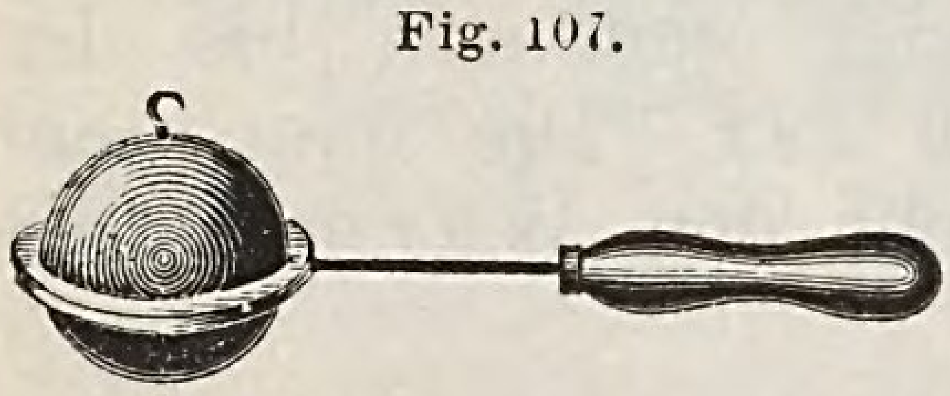
Die Ausdrücke Wärme und Temperatur dürfen nicht miteinander verwechselt werden, da Wärme die Ursache der Wärmeerscheinungen, Temperatur hingegen nur den Grad der Erwärmung angiebt. — Ebenso unrichtig würde es ferner sein, Wärme und Kälte für etwas wesentlich Verschiedenes zu halten. Ein Körper ist kalt, heifst: der Grad seiner Erwärmung ist gering, oder er hat eine niedrige Temperatur, nicht aber, er enthalte gar keine Wärme. — In Deutschland werden im täglichen Leben vielfach Thermometer mit der Skala von Réaumur benutzt; die Skala von Celsius wird besonders in Frankreich gebraucht.

Übungsstoff. 1. Worin stimmen die Therm. nach R und C überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — 2. Warum mufs der freie Raum der Therm.-Röhre luftdicht sein? — 3. Warum sind die Therm. unten gefäfsförmig erweitert? — 4. Warum ist die Wand des Gefäfses dünn, die Wand der Röhre dagegen dick? —

5. Welche Schutzvorrichtung befindet sich an Zimmer-Thermometern gewöhnlich über der Kugel? — 6. Für manche Zwecke reicht es aus, Therm. zu benutzen, deren Skala nur bis 40 oder 50° hinaufgeht. Warum dürfen solche Therm. nicht in Flgkn. eingetaucht werden, welche eine höhere Temp. haben? — 7. Die Kugeln zweier Therm. seien gleichdick, die Röhren dagegen ungleichweit. Bei welchem wird dann das Qu. bei gleicher Temp.-Erhöhung am schnellsten steigen und fallen, u. w.? — 8. Was wird eintreten, wenn die Röhren gleichweit und die Kugeln ungleichdick sind? — 9. Durch welche Einrichtung läfst es sich demnach erreichen, dafs die Teilstriche der Skala eines Therm. möglichst weit auseinanderfallen? — 10. Kugeln haben bei dem gröfsten Rauminhalte die kleinste Oberfläche. Leite hieraus ab, warum für sehr empfindliche Therm. sich die in Fig. 106 dargestellte Form besser eignet. — 11. Wv. Grad C sind +12°, +17°, +25° und —12°, —17°, —25° R? — 12. Wv. Grad R sind +20°, +33°, +49° und —20°, —33°, —49° C?

§ 31. Ausdehnung der Körper durch die Wärme. a. Ausdehnung fester Körper. Aus zahlreichen Erfahrungen des täglichen Lebens geht hervor, dafs die festen Körper, besonders die Metalle, unter dem Einflufs der Wärme ihr Volumen auffällig verändern. Telegraphendrähte z. B. erscheinen im Winter straff gespannt, während sie im Sommer schlaff hängen; beim Legen von Eisenbahnschienen, eisernen Röhrenleitungen, Kupfer- und Zinkplatten auf Dächern und ähnlichen Metallverbindungen mufs ein hinreichender Spielraum für die Ausdehnung bei Temperaturzunahme gelassen werden u. s. w.

Fig. 107.

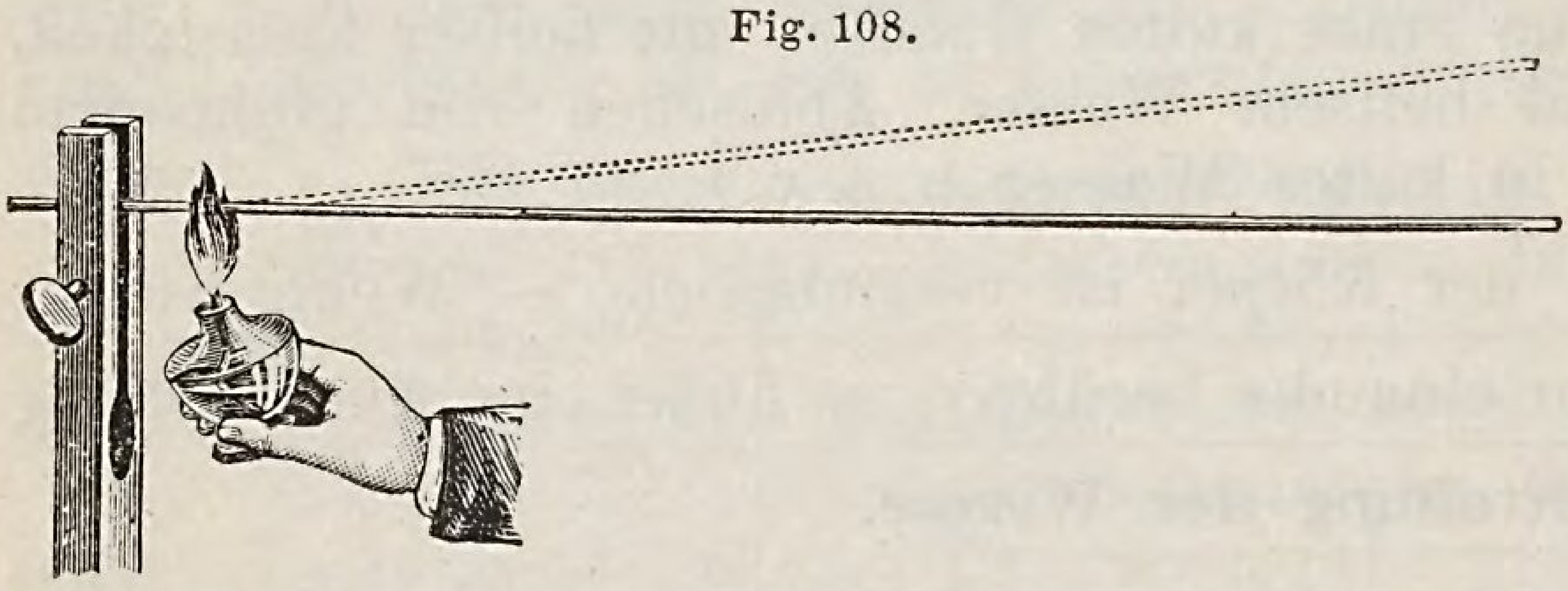


Versuch a. Wie wird sich die Metallkugel (Fig. 107) gegen den Metallring verhalten, durch welchen sie bei gewöhnlicher Temperatur eben hindurchfallen kann, wenn a. die Kugel, b. der Ring stark erhitzt wird?

Über das Verhalten des Glases bei stärkerer Erwärmung giebt folgender Versuch Aufschlufs.

Versuch b. Erhitzt man eine wagerecht befestigte Glasröhre von $\frac{1}{2}$ bis 1 m Länge und einigen mm Dicke unterwärts nahe am befestigten Ende (Fig. 108), so hebt sich das freie Ende um einige cm und sinkt nach Entfernung der Flamme wieder herab. Erklärung!

Fig. 108.



Aus den angeführten Erfahrungen und Versuchen folgt das Gesetz: Werden feste Körper erwärmt, so dehnen sie sich aus; durch Abkühlung ziehen sie sich zusammen.

b. Ausdehnung flüssiger und luftförmiger Körper. Das Quecksilber im Thermometer steigt bei der Erwärmung, weil es sich ausdehnt; dafs auch andere Flüssigkeiten als Quecksilber durch Temperaturerhöhung sich ausdehnen, läfst sich durch Versuche leicht bestätigen.

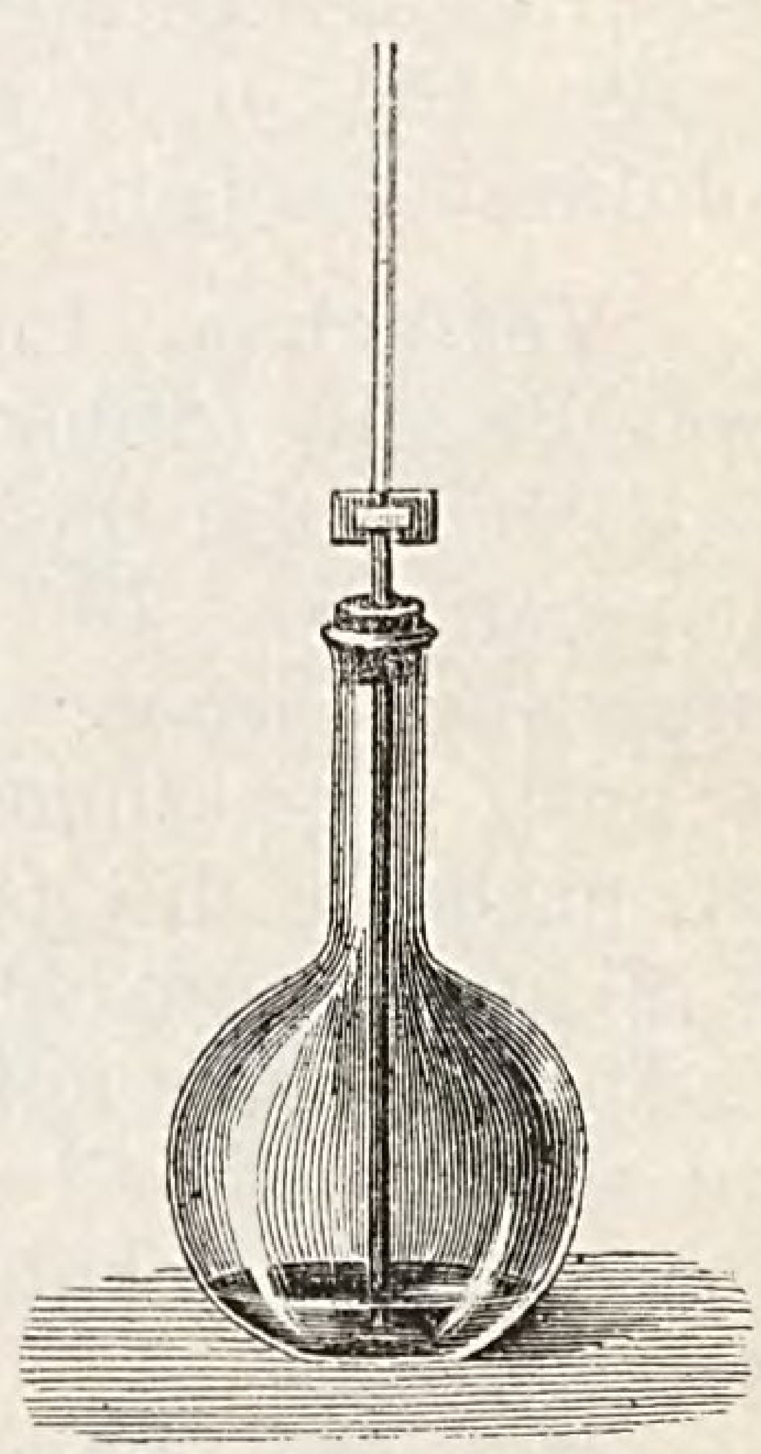
Versuch c. Ein Probiergläschen fülle man etwa zur Hälfte mit Petroleum oder Alkohol und erwärme es in heifsem Wasser (warum nicht über einer Flamme?); die Ausdehnung der Flüssigkeit ist deutlich erkennbar.

Versuch d. Eine gut verkorkte und ganz mit kaltem Wasser gefüllte Glasflasche, in welcher eine enge Glasröhre luftdicht befestigt ist, wird durch Eintauchen in heifses Wasser schnell erwärmt. Das Wasser in der Röhre sinkt zunächst ein wenig, dann steigt es. Erklärung (unter Beziehung auf Versuch b)!

Die Ausdehnung der Luft durch Erwärmung ist noch auffälliger, als die der Flüssigkeiten und zeigt sich an zahlreichen Beobachtungen. (Beispiel: Eine mit Luft gefüllte und straff zugebundene Blase.)

Versuch e. Eine Retorte oder Kochflasche wird mit ihrer Mündung in Wasser getaucht. Erwärmt man die Retorte mit einer Flamme, so entweichen zahlreiche Luftblasen durch das Wasser; kühlt man sie ab, so dringt Wasser in dieselbe ein; warum?

Fig. 109.



Versuch f. Eine nur wenig Wasser enthaltende, fest verschlossene Flasche (Fig. 109), durch deren Kork eine enge Glasröhre gesteckt ist, wird etwa durch Auflegen der Hände ein wenig erwärmt; das Wasser steigt schnell in der Röhre hinauf, wenn letztere bis in das Wasser hinabreicht. Durch Abkühlung sinkt es schnell wieder.

Mit dieser Vorrichtung lassen sich geringe Temperaturveränderungen leicht sichtbar nachweisen. Apparate, welche Temperaturveränderungen anzeigen, werden, wenn sie nicht mit einer Skala versehen sind, **Thermoskope**, d. h. Wärmeanzeiger, genannt.

Aus den Versuchen c bis f ergiebt sich das Gesetz:

Flüssige oder luftförmige Körper dehnen sich aus, wenn sie erwärmt werden; sie ziehen sich zusammen, wenn sie abgekühlt werden.

Genauere Versuche lehren:

Bei gleicher Temperaturerhöhung dehnen sich die luftförmigen Körper stärker aus als die flüssigen und diese stärker als die festen Körper.

Die Temperaturerhöhung und die Ausdehnung sind demnach zwei Hauptwirkungen der Wärme.

Übungsstoff. 1. Warum werden eiserne Reifen stark erhitzt, wenn sie um Räder gelegt werden sollen? — 2. Inwiefern ist die Raumveränderung, welche die Gesteine durch Temperaturwechsel erleiden, von Einflufs auf die Verwitterung derselben? — 3. Lampencylinder und Glasflaschen werden abgesprengt, indem man sie durch Reiben mittelst einer darumgelegten Schnur stark erhitzt und die erhitzte Stelle mit kaltem W. bespritzt. Erkl.! — 4. Dickwandige Flaschen, Gläser, Lampencylinder u. s. w. zerspringen beim Erwärmen leichter als dünnwandige; w.? (Wandstärke von Trink- und Kochflaschen!) — 5. An welcher Stelle mufs die Wand eines

Lampencylinders am dünnsten sein, u. w.? — 6. Eingeschliffene Glasstöpsel lassen sich durch Erwärmen des Flaschenhalses lockern. Ausführung und Erkl.! — 7. Warum dürfen Öl-, Petroleum- und Spiritusfässer, namentlich in kühler Jahreszeit, für den Versand nicht ganz gefüllt werden? — 8. An Mafscylindern, d. h. an Glascylindern, welche mit Teilstrichen (etwa für ccm) versehen sind und zum Messen von Flgkn. dienen, ist gewöhnlich auch die Temp. angegeben, für welche die Teilung Gültigkeit hat (z. B. 12° R oder 15° C); w.? — 9. Was wird eintreten, wenn man einen Heronsball erwärmt? Grund! — 10. Ein Heronsball soll mit W. gefüllt werden, ohne dafs er geöffnet wird. Wie ist dies möglich? (Füllen von Thermometer-Röhren.) — 11. Beim Verbrennen von Steinkohle entstehen Gase. Erkläre hiernach, warum brennende Kohlen bisweilen mit starkem Knalle auseinanderspringen. (Kastanien im Feuer.) — 12. Wie erklärt es sich, dafs von Flaschen mit kohlensäurehaltigen Getränken häufig die Korke abspringen, wenn die Flaschen aus dem kalten Keller in einen warmen Raum gebracht werden?

§ 32. Änderung der Aggregatzustände.*) a. Schmelzen und Erstarren. Eis und Schnee verwandelt sich bei 0° in Wasser, dieses bei Temperaturen unter 0° umgekehrt wieder in Eis oder Schnee. Metalle, Glas u. s. w. lassen sich im Feuer erweichen und verflüssigen und durch genügende Abkühlung wieder in feste Körper verwandeln u. s. w.

Versuch a. In einem Becherglase schmelze man über einer Flamme etwas Stearin (Stück von einer Kerze). Sobald das Schmelzen beginnt, zeigt ein in die flüssige Masse gehaltenes Thermometer eine bestimmte Temperatur an (70° C); dieselbe bleibt so lange unverändert, als überhaupt noch etwas von dem Stearin fest ist (man beobachte auch, dafs die noch ungeschmolzenen Teile am Boden liegen bleiben!) und steigt erst, nachdem die ganze Masse flüssig geworden ist. Man entfernt nun die Flamme und läfst die geschmolzene Masse abkühlen. Erst nachdem das Thermometer auf 70° gesunken ist, beginnt die Erstarrung derselben und solange dieselbe vor sich geht, bleibt die Temperatur unverändert. Eine weitere Abkühlung tritt erst ein, nachdem die ganze Masse erstarrt ist.

Dieselben Beobachtungen können leicht an anderen Körpern (z. B. Paraffin, Wachs, Schwefel, Blei) gemacht werden; es ergiebt sich, dafs der Übergang aus dem festen in den flüssigen und aus dem flüssigen in den festen Zustand (Schmelzen und Erstarren) immer bei ein und derselben Temperatur stattfindet.

Durch genügende Erwärmung werden feste Körper flüssig; durch Abkühlung werden flüssige Körper fest. — Für jeden schmelzbaren Körper giebt es eine bestimmte Temperatur, bei welcher er schmilzt: **Schmelzpunkt.** Bei derselben Temperatur wird der flüssige Körper wieder fest: **Erstarrungspunkt.**

Über die Änderung des Rauminhaltes, welche beim Schmelzen und Erstarren der Körper eintritt, lehren die Versuche:

Beim Schmelzen dehnen sich die meisten Körper aus; beim Erstarren ziehen sie sich zusammen.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 118 ff.

Die beobachtete Thatsache, dafs geschmolzenes Stearin über den noch ungeschmolzenen Stücken schwimmt, ist damit in Übereinstimmung: das Stearin hat sich beim Schmelzen ausgedehnt. Ebenso verhalten sich die meisten anderen Körper; das Wasser dagegen macht eine wichtige Ausnahme. Wasser dehnt sich beim Gefrieren stark aus. Dies läfst sich daraus schliefsen, dafs z. B. Flaschen, welche ganz mit Wasser gefüllt sind, zerspringen, wenn das Wasser gefriert, sowie dafs Eis auf Wasser schwimmt (aus 10 ccm Wasser entstehen ungefähr 11 ccm Eis und umgekehrt). Eis zieht sich demnach beim Schmelzen zusammen. — Unter den Metallen verhält sich Gufseisen, Wismut und Antimon ebenso.

Schmelzpunkte einiger Körper
in Graden nach C.

Quecksilber.	— 39°	Blei. ungef.	300°	Gufseisen . .	1100 bis 1200°
Eis	0°	Zink „	400°	Stahl	1300 „ 1400°
Stearin u. Wachs ungef.	+ 70°	Silber u. Kupfer „	1000°	Schmiedeeisen	1500 „ 1600°
Zinn „	230°	Gold. „	1200°	Platin ungef.	1700°

Meerwasser gefriert wegen seines Salzgehaltes erst bei ungefähr — 2,5° C. Alkohol kann bis — 100° erkaltet werden, ohne zu gefrieren.

Die Änderung des Aggregatzustandes ist die dritte Hauptwirkung der Wärme.

b. Verdampfen und Verdichten. I. Das Verdunsten. Feuchte Körper trocknen an der Luft und zwar um so schneller, je wärmer und trockener dieselbe ist. Führe Erfahrungen hierüber an!

Ein einfacher Versuch lehrt, dafs auch die Natur der Flüssigkeit einen Einflufs auf derartige Vorgänge ausübt.

Versuch b. Hängt man drei Streifen Löschpapier, von denen der eine mit Wasser, der andere mit Alkohol und der dritte mit Äther getränkt ist, im Zimmer frei auf, so wird der letzte Streifen am schnellsten, der erste am langsamsten trocken.

Erfahrungen und Versuche lehren:

Flüssige Körper verwandeln sich schon bei gewöhnlicher Temperatur in Dämpfe, welche in die umgebende Luft entweichen: **Verdunstung.** Dieselbe findet nur an der Oberfläche statt und erfolgt bei verschiedenen Flüssigkeiten (Äther, Alkohol, Wasser) verschieden schnell.

Die Verdunstung erfolgt um so schneller, je höher die Temperatur ist und je weniger Dämpfe die Luft enthält. Auch unter 0° kann noch eine Verdunstung stattfinden. Eis z. B. verdunstet bei trockener Luft, feuchte Wäsche wird auch bei Frostwetter trocken, wenngleich langsamer als sonst. Mit Eis und Schnee bedeckte Wege werden bei anhaltend trockenem Froste staubig.

II. Das Verdampfen (Sieden).

Versuch c. Beobachtung des Siedens von Brunnenwasser in einer offenen Kochflasche mit eingesetztem Thermometer: Aufsteigen von Luftblasen, Bildung von Dampfblasen, die zuerst an der Oberfläche wieder verschwinden (singendes Geräusch!), endlich wallende Bewegung durch die ganze Flüssigkeit, Entweichen des Dampfes und feuchter Niederschlag in der Mündung der Kochflasche. Das Thermometer bleibt während des Siedens unverändert bei 100° C stehen.

Die Verwandlung einer Flüssigkeit in Dampf wird **Sieden** *genannt, wenn die Dampfbildung durch die ganze Masse der Flüssigkeit stattfindet; die Temperatur, bei welcher das Sieden eintritt, heifst* **Siedepunkt.**

Um zu ermitteln, wie sich die Siedepunkte der bei Versuch a zum Verdunsten benutzten Flüssigkeiten zu einander verhalten, läfst sich in folgender Weise verfahren:

***Versuch d.** Taucht man in stark erhitztes Öl zwei ziemlich enge, aber gleichweite Probierröhrchen, von denen das eine Wasser, das andere Alkohol von gewöhnlicher Temperatur enthält, so fängt zuerst der Alkohol, darauf auch das Wasser an zu sieden. Erhitzt man ebenso Alkohol und Äther zugleich in heifsem Wasser, so siedet der Äther zuerst. — Vgl. hiernach die Siedetemperaturen von Öl, Wasser, Alkohol und Äther miteinander. — Genaue Versuche lehren:

Jede Flüssigkeit siedet bei einer bestimmten Temperatur **(Siedepunkt)**; solange diese nicht erreicht ist, findet nur eine Verdunstung statt.

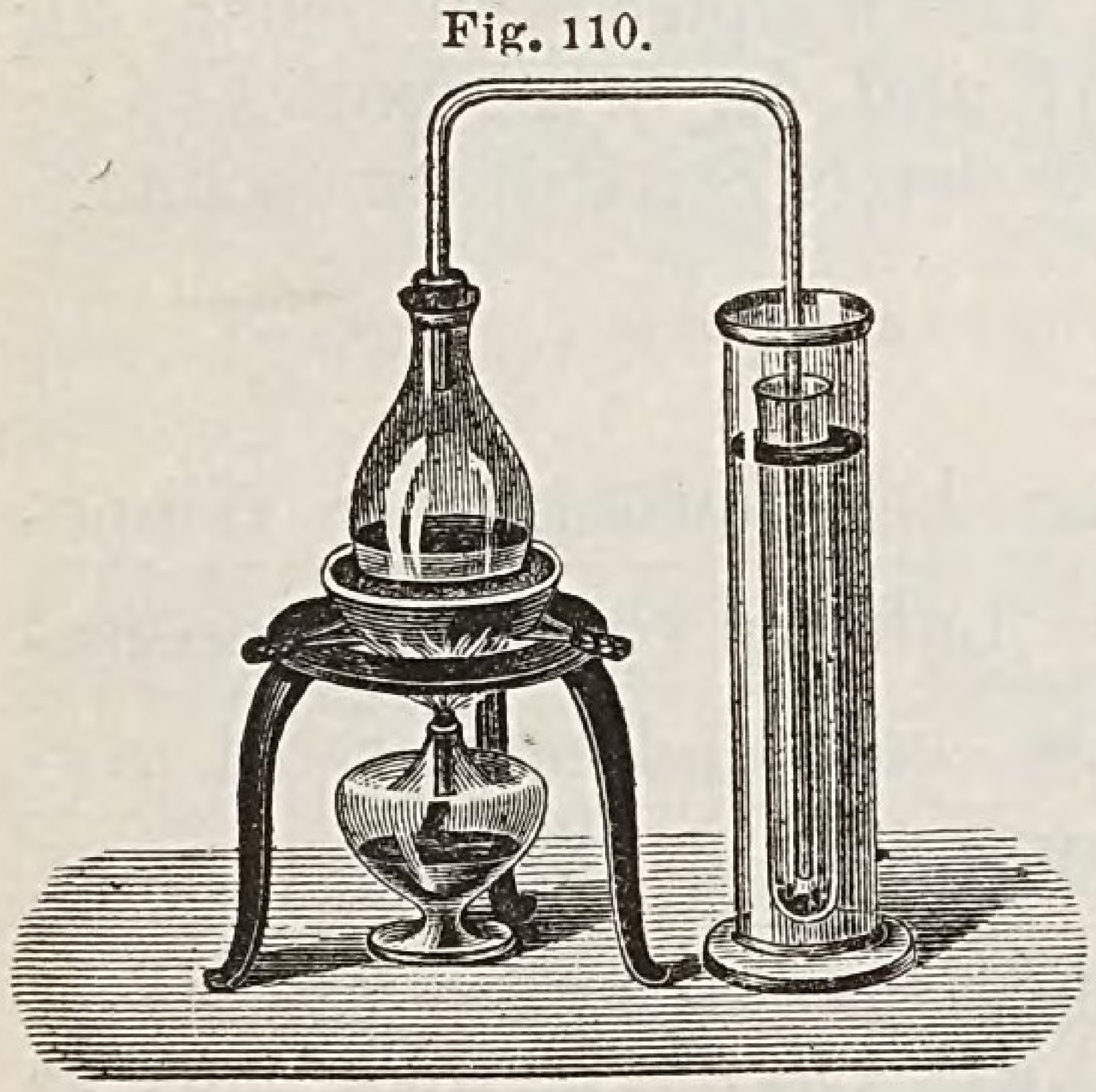
Siedepunkte einiger Flüssigkeiten
in Graden nach C.

Reines Wasser . .	+100°	Schwefeläther . . .	+35°	Leinöl	+315°
Meerwasser ungef.	104°	Alkohol	78°	Quecksilber	360°

III. Das Verdichten. Destillation.

***Versuch e.** Eine Kochflasche steht durch eine Glasröhre mit einem von kaltem Wasser umgebenen Gefäfse (Kühlgefäfse) in offener Verbindung (Fig. 110). Das Wasser in der Kochflasche wird erhitzt, bis sich unter heftigem Ausströmen von Dämpfen im Kühlgefäfse Wasser ansammelt. Nach Entfernung der Flamme hört die wallende Bewegung auf und das Wasser strömt aus dem Kühlgefäfse wieder in die Flasche zurück. Erklärung!

Fig. 110.



Aus den Versuchen c und e geht hervor, dafs das Wasser durch Wärme sich in Dampf verwandelt, aus welchem bei genügender Abkühlung die ursprüngliche Flüssigkeit wieder entsteht.

Durch Wärme werden flüssige Körper dampfförmig; durch genügende Abkühlung werden Dämpfe wieder tropfbar flüssig.

Die Verdichtung von Dampf zu Flüssigkeit heifst **Kondensation.**[1]) — *Wasser, das durch Verdichtung von Wasserdämpfen hergestellt worden ist, nennt man* **destilliertes**[2]) **Wasser.**

[1]) condensare, verdichten. — [2]) destillare, herabtröpfeln.

Übungsstoff. 1. Welche Metalle schmelzen a. in siedendem Leinöl, b. in schmelzendem Kupfer? — 2. Gefrorene Früchte (Kartoffeln, Äpfel u. dgl.) werden oft wieder geniefsbar, wenn man sie einige Zeit in recht kaltem W. liegen läfst. In demselben überziehen sie sich mit einer Eiskruste, welche allmählich wieder schmilzt. Erkläre die letzteren Erschn.! — 3. Nach dem Auftauen des Eises im Frühlinge sieht man oft auf Wegen den Erdboden von den darin liegenden Steinen ringsum abgehoben. Erkl. und Hinweis auf den Einflufs, den das in den Spalten der Gesteine gefrierende W. auf den Verwitterungsprozefs hat. — 4. Flüssiger Leim, Kleister u. dgl. überziehen sich an der Luft mit einer Haut und trocknen nach und nach ein. Erkl.! Einflufs der Temp.! — 5. Nach einem Regen trocknet Wäsche weit langsamer als sonst, am schnellsten bei trockenem Winde. Erkl.! — 6. Erkläre folgende Erschn.: a. die Entstehung von Wassertropfen unter den Deckeln der Kochtöpfe, b. das sogen. Beschlagen einer Fensterscheibe, wenn man dagegen haucht, c. die Entstehung von Fensterschweifs, d. das bekannte Beschlagen der Brillengläser. — 7. Wenn das Probiergläschen (Fig. 110) entfernt wird, so steigen die aus der Röhre tretenden Blasen anfangs ganz im W. auf; sobald das W. in der Flasche siedet, verschwinden sie schon an der Mündung der Röhre; hat sich das W. im Cylinder durch die Dämpfe bis zum Sieden erhitzt, so steigen die Blasen wieder ganz im W. auf. Erkl.! — 8. Wenn bei einer Spirituslampe der Docht nach dem Gebrauche der Lampe nicht mit einem Hütchen (aus Glas oder Blech) überdeckt wird, so bleibt er zwar feucht, er ist aber um so schwerer wieder zu entzünden, je länger die Lampe offen gestanden hat. Grund! (Spiritus besteht aus W. und Alkohol, nur letzterer ist brennbar.) — 9. Beziehung zwischen den Siedepunkten der drei bei Versuch a benutzten Flgkn. und der Schnelligkeit, mit welcher diese Flgkn. verdunsteten! — 10. Angenommen, die Flasche, Fig. 110, enthalte Spiritus; welche von beiden Flgkn. wird am schnellsten verdampfen, u. w.? — 11. Vgl. den Spiritusgehalt der aus den Dämpfen gewonnenen Flgk. a. mit dem des anfänglichen Gemisches, b. mit der rückständigen Flgk. in der Flasche. (Destillation.) — 12. Salzsole läfst man, wenn sie sehr viel W. enthält, zunächst an Dornenwänden (Gradierwerk) hinuntertröpfeln und darauf in grofsen Pfannen sieden; w.? Ersteres ist auch im Winter (namentlich bei trockenem Froste) von Erfolg, niemals jedoch bei nassem Wetter. Erklärung!

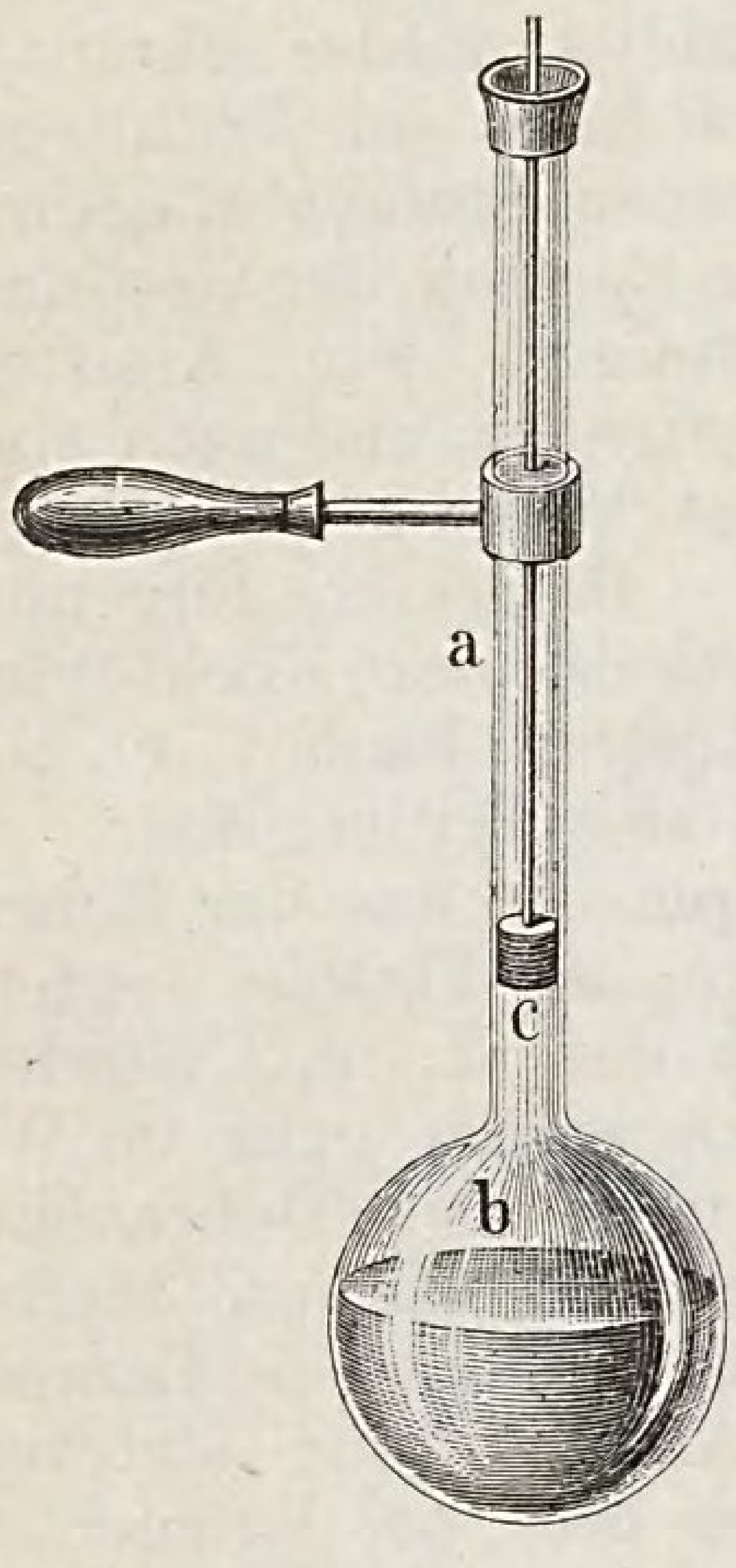
§ 33. Druck der Dämpfe.*) Nach der Erscheinung, dafs das Wasser (bei Versuch e, § 32) wieder in die Flasche zurückströmte, lassen sich Dampfspannung und Luftdruck in Bezug auf ihre Gröfse miteinander vergleichen. Da nämlich die anfangs in der Flasche enthaltene Luft von dem ausströmenden Dampfe mit fortgerissen wurde, so konnte beim Eintreten jener Erscheinung vom Innern der Flasche aus nur noch der Dampf auf das Wasser einwirken, während von aufsen der Luftdruck wirkte. Solange nun das Wasser siedete, vermochten die Dämpfe offenbar den Druck der äufseren Luft zu überwinden, denn sie strömten aus und verdrängten das in der Röhre enthaltene Wasser. Als aber das Wasser zurückströmte, mufste der Druck des Dampfes durch die Abkühlung so stark abgenommen haben, dafs der unveränderte Luftdruck den Gegendruck des Dampfes überwinden konnte. Die äufsere Luft trieb somit das Wasser mit zunehmendem Überdruck in die Flasche zurück. Da das Sieden hierbei aufhörte, so gelangen wir zu dem weiteren Schlusse, dafs die Bildung von Dampfblasen im Innern des Wassers erst dann erfolgen konnte, als die Dampfspannung grofs genug war, den auf dem Wasser lastenden Druck der Luft zu überwinden.

In offenen Gefäfsen siedet eine Flüssigkeit, wenn die Spannung ihrer Dämpfe dem Drucke der äufseren Luft gleich ist.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 122.

Ätherdämpfe vermögen demnach schon bei 35°, Dämpfe von Alkohol bei 78° C einen Druck auszuüben, welcher dem Drucke der Wasserdämpfe von 100° C gleich ist.

Fig. 111.



Durch den Druck von Dämpfen und den Luftdruck läſst sich auch eine Kolbenbewegung hervorrufen:

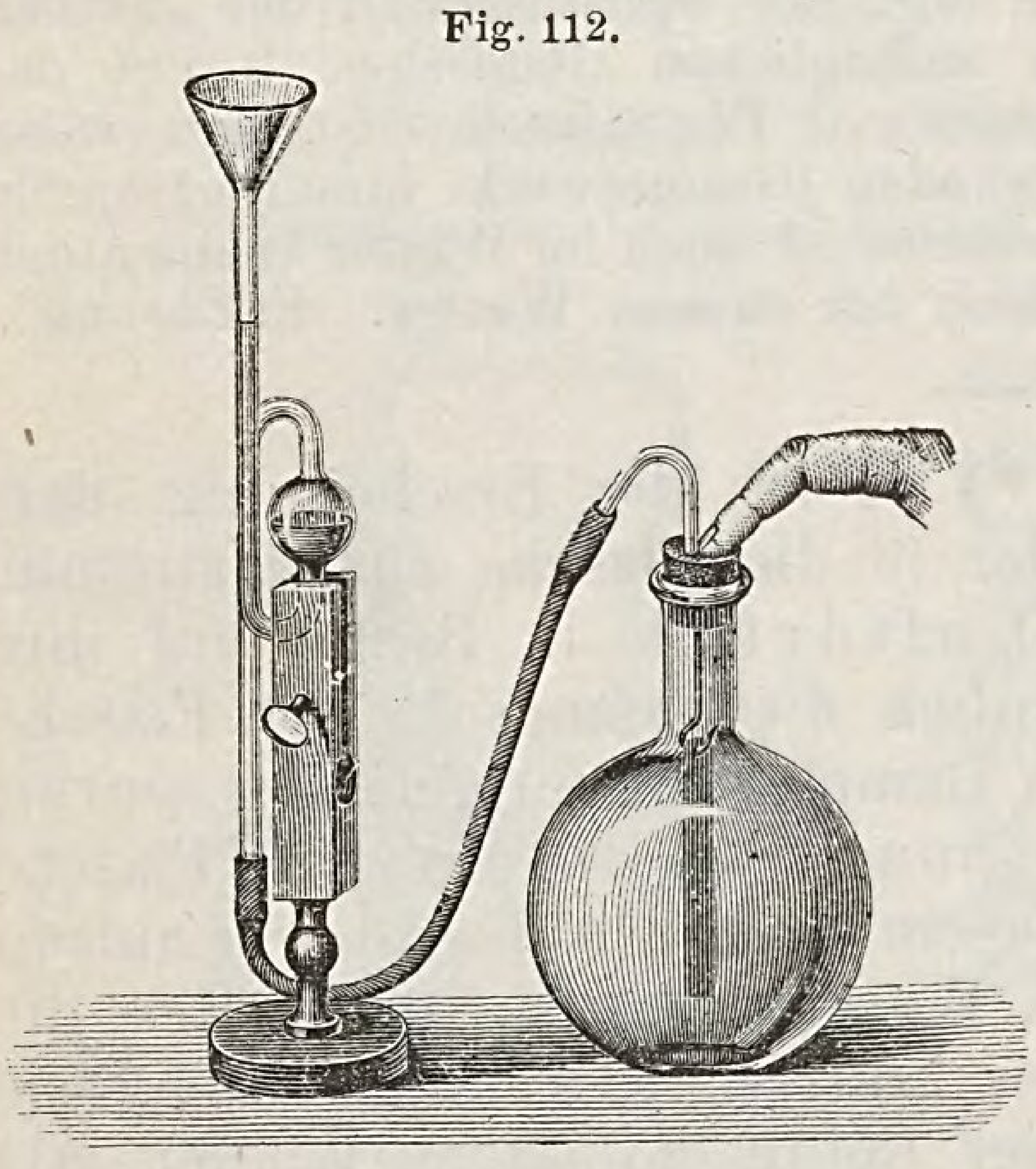
Versuch a. Erhitzt man in einem am unteren Ende erweiterten Glascylinder (Fig. 111) oder in einer überall gleichweiten Probierröhre etwas Wasser, nachdem man vorher einen leicht beweglichen Kolben hineingeschoben hat, so steigt der Kolben durch den Überdruck der Dämpfe in die Höhe. Taucht man das Gefäſs darauf in kaltes Wasser, so geht der Kolben durch den Überdruck der Luft wieder zurück.

Der Druck der Wasserdämpfe findet bei Dampfmaschinen**) eine wichtige Anwendung, indem man die Dämpfe in einem geschlossenen Cylinder auf einen luftdicht schlieſsenden Kolben einwirken läſst, der durch seinen Hin- und Hergang eine Kurbel dreht und dadurch die Maschine in Bewegung setzt.

Was läſst sich hinsichtlich des Druckes erwarten, welchen die drei bei Versuch a, § 32, benutzten Flüssigkeiten bei gleicher, etwa bei gewöhnlicher Lufttemperatur ausüben werden?

Bestätigung durch ***Versuch b.** Schlieſst man drei Papierstreifen, von denen der eine mit Äther, der andere mit Alkohol und der dritte mit Wasser benetzt ist, nacheinander luftdicht in eine Kochflasche ein, welche mit einem heberförmigen Manometer (Fig. 112) in offener Verbindung steht, so giebt sich durch das Aufsteigen der in letzterem enthaltenen Flüssigkeit (Qu. oder gefärbtes W.) jedesmal eine Dampfspannung zu erkennen, welche beim Äther am gröſsten, beim Wasser am kleinsten ist. — Derartige Erscheinungen zeigen die Dämpfe aller Flüssigkeiten bei jeder Temperatur.

Fig. 112.



Dämpfe üben vermöge ihrer Ausdehnsamkeit bei jeder Temperatur einen Druck aus, dessen Gröſse von der Natur der zugehörigen Flüssigkeit abhängt und durch Wärme zunimmt (**Dampfspannung**, vgl. § 18).

Übungsstoff. 1. Die Heftigkeit, mit welcher das W., Fig. 110, in die Flasche zurückströmt, nimmt mit der Stärke der Abkühlung der Flasche zu. Erkl.! — 2. Ähnliches gilt in Bezug auf Fig. 111; inwiefern? — 3. Warum ist es falsch, zu schlieſsen, daſs bei Fig. 111 unter oder über dem Kolben nicht eher ein Überdruck vorhanden sei, bis der Kolben sich bewegt? — 4. Wenn man den Kolben, nachdem die Luft ihn wieder niedergedrückt hat, mit der Hand schnell in die Höhe zieht, so

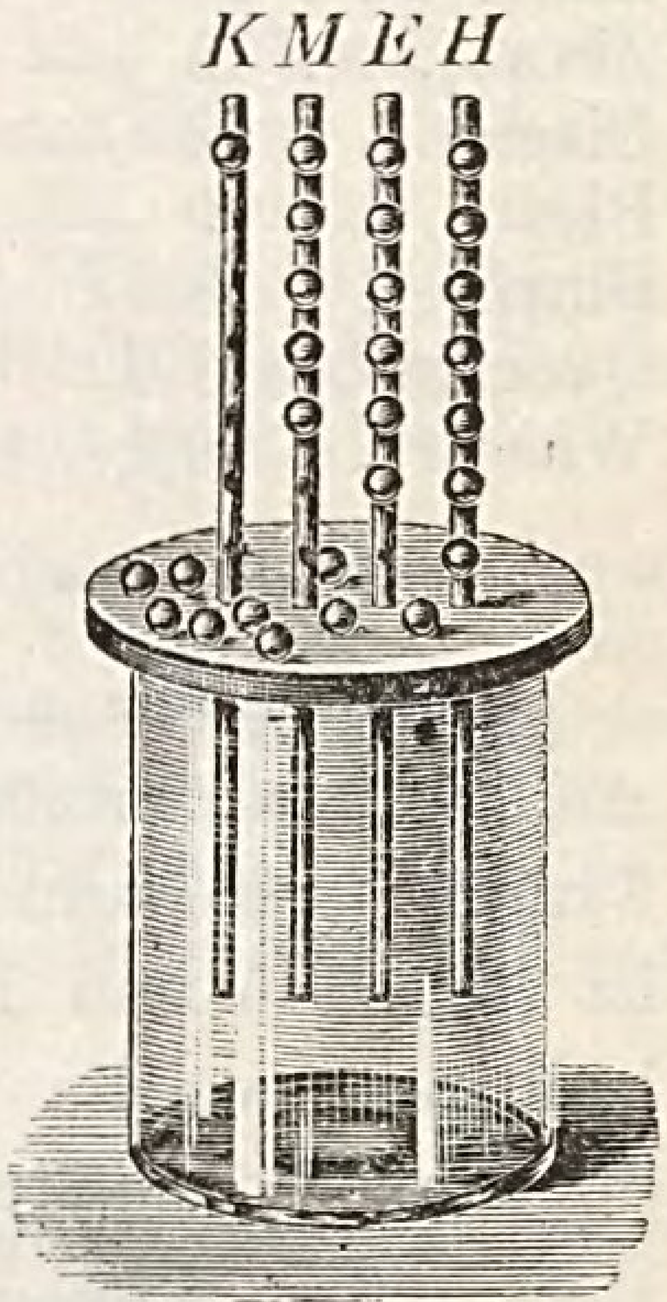
*) Ausführliches über die Dampfmaschine: II. Lehrstufe, § 123 und 124.

entsteht im W. dieselbe wallende Bewegung, durch welche sich das Sieden einer Flgk. kennzeichnet. Wie mag sich dies erklären? — 5. Wie läſst sich aus den Dampfspannungen, welche Äther, Alkohol und W. bei obigem Versuche zu erkennen gaben, die ungleiche Höhe der Siedepunkte dieser Flgkn. erklären? — 6. Was hätte bei Versuch b eintreten müssen, wenn man die Flasche ein wenig erwärmt; was hingegen, wenn man sie abgekühlt hätte, u. w.? — 7. Inwiefern übt das spec. Gew. der im Manometer (Fig. 112) enthaltenen Flgk. einen Einfluſs auf die Höhe aus, bis zu welcher die Flgk. steigt? — 8. Wie stark muſs man Qu. erhitzen, damit die Dämpfe desselben den Druck der Luft überwinden können? — 9. Hebe die Beziehungen hervor, welche sich nach den mit W., Alkohol und Äther angestellten Versuchen zwischen der Spannung der Dämpfe dieser Flgkn. bei gewöhnlicher Temp. und der Höhe der Siedepunkte derselben Flgkn. zu erkennen gaben.

B. Fortpflanzung der Wärme.*)

§ 34. Wärmeleitung. Ein brennendes Streichholz kann man mit bloſser Hand nahe an der Flamme halten, ohne sich zu verbrennen, desgl. einen Strohhalm, ein Stück Papier u. s. w.; wenn man dagegen eine Nadel, einen Draht oder dergl. an einem Ende erhitzt und am anderen festhält, so verbrennt man sich leicht. *Der Übergang der Wärme von einem Körper zu einem anderen bei unmittelbarer Berührung, sowie das Fortschreiten der Wärme im Innern eines Körpers wird* **Wärmeleitung** *genannt.* Die erwähnten festen Körper leiten demnach die Wärme verschieden gut fort.

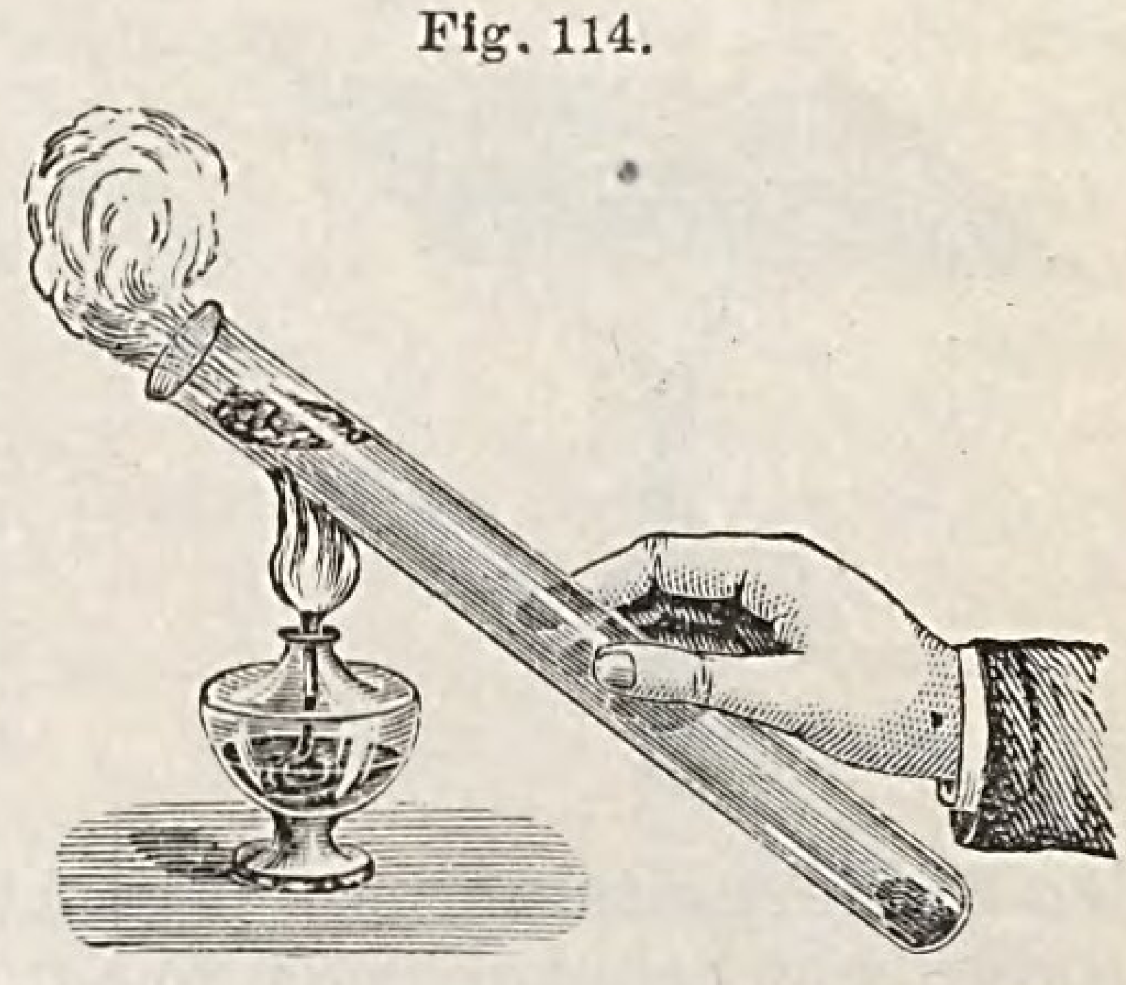
Fig. 113.



Genaueres über die Wärmeleitung durch verschiedene Körper lehren folgende Versuche:

***Versuch a.** Ein mit Wasser gefülltes Gefäſs (Becherglas oder Blechgefäſs) verschlieſse man mit einem Deckel, in welchem man vier ungefähr 20 cm lange und 7 bis 8 mm dicke Stäbe von Kupfer, Messing, Eisen und Holz oder Glas befestigt hat (Fig. 113). Auf dem oberen Teile der Stäbe seien in Centimeterweite mit Wachs Kügelchen von Blei angeklebt. Erhitzt man dann das Wasser bis zum Kochen, so fallen die Kügelchen von den Metallstäben bis zu den verschiedenen Höhen herab und zwar vom Kupferstabe die meisten, vom Eisenstabe die wenigsten, während sie auf dem Holzstabe alle haften bleiben.

Fig. 114.



Versuch b. Wird ein mit Wasser gefülltes Probiergläschen (Fig. 114), auf dessen Boden ein mit Bleidraht beschwertes Stück Eis liegt, nur oben erhitzt, so fängt das Wasser hier an zu kochen, ohne daſs das Eis schmilzt. Was ergiebt sich aus diesem Versuch über das Wärmeleitungsvermögen des Wassers?

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 125.

Das Vermögen der Körper, die Wärme durch Leitung fortzupflanzen, ist sehr verschieden. Manche Körper vermögen die Wärme leicht aufzunehmen und in ihrem Innern zu verbreiten **(gute Wärmeleiter)**; bei anderen erfolgt dieser Vorgang sehr langsam **(schlechte Wärmeleiter).**

Die besten Wärmeleiter sind die Metalle, namentlich Silber und Kupfer. Hierauf folgen die Mineralien, von denen die meisten nur ein mittleres Leitungsvermögen besitzen und daher als Halbleiter bezeichnet werden. Die Flüssigkeiten sind schlechte Wärmeleiter. Das geringste Leitungsvermögen haben die luftförmigen Körper; daher leiten auch Stoffe, wie Schnee, Holz, Stroh, Wolle, Federn, Pelz, Asche u. s. w., um so schlechter, je lockerer sie sind.

Leitungsvermögen einiger Körper
in Zahlen und Linien ausgedrückt.

Silber	100
Kupfer . .	74
Gold . . .	53
Messing. .	23
Zink. . . .	19
Zinn. . . .	15
Eisen . . .	12
Blei	9
Platin. . .	8
Quecksilber	1,2
Wasser . .	0,1

Erkläre die Erscheinungen des folgenden Versuches:

Versuch c. Läſst man durch ein Drahtnetz mit engen Maschen Leuchtgas strömen und entzündet darauf das Gas unter oder über dem Netze, so setzt sich die Flamme erst dann nach der anderen Seite fort, wenn der Draht glühend geworden ist (Fig. 115 und 116). (Statt des Leuchtgases kann man auch die brennbaren Gase benutzen, welche von dem glimmenden Dochte einer recht dicken Wachs- oder Stearinkerze aufsteigen.)

Diese Eigenschaft der Drahtnetze findet eine sehr nützliche Anwendung bei

Fig. 115.

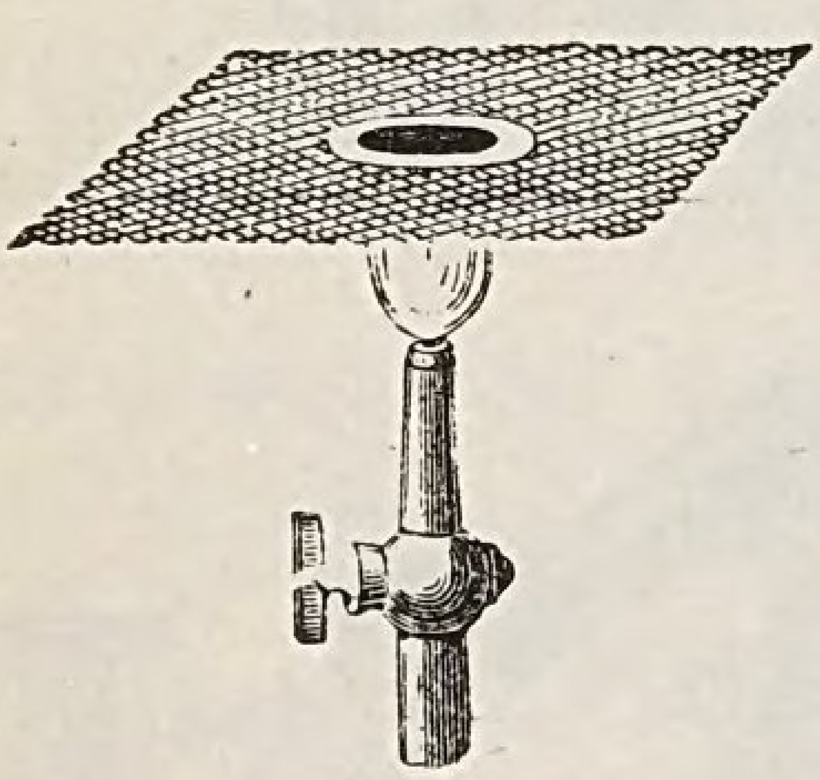


Fig. 116.

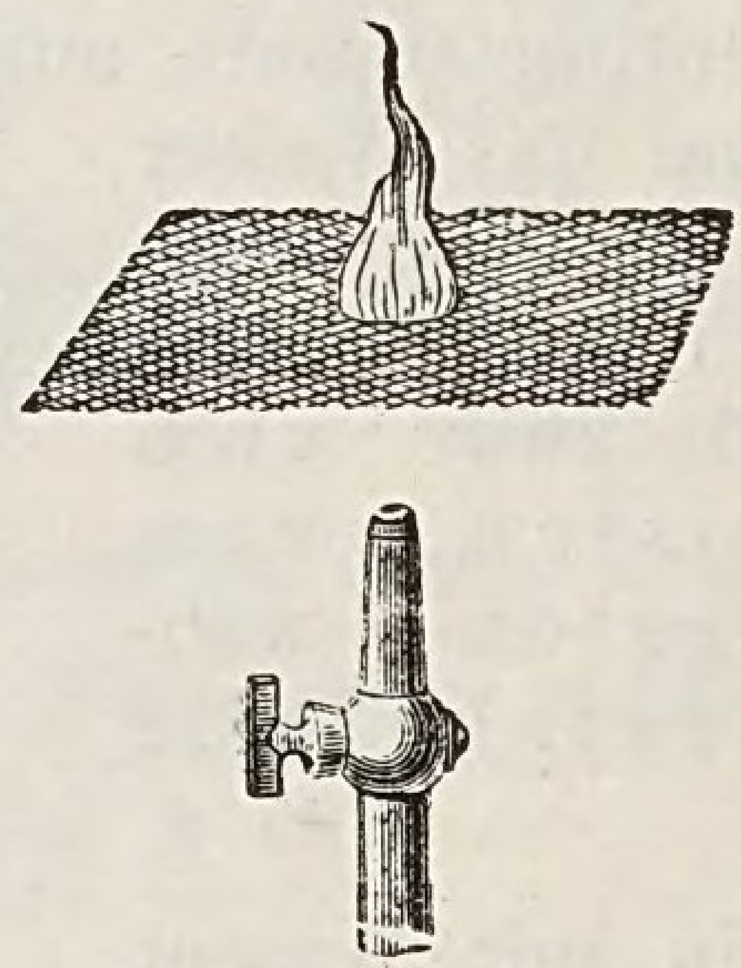
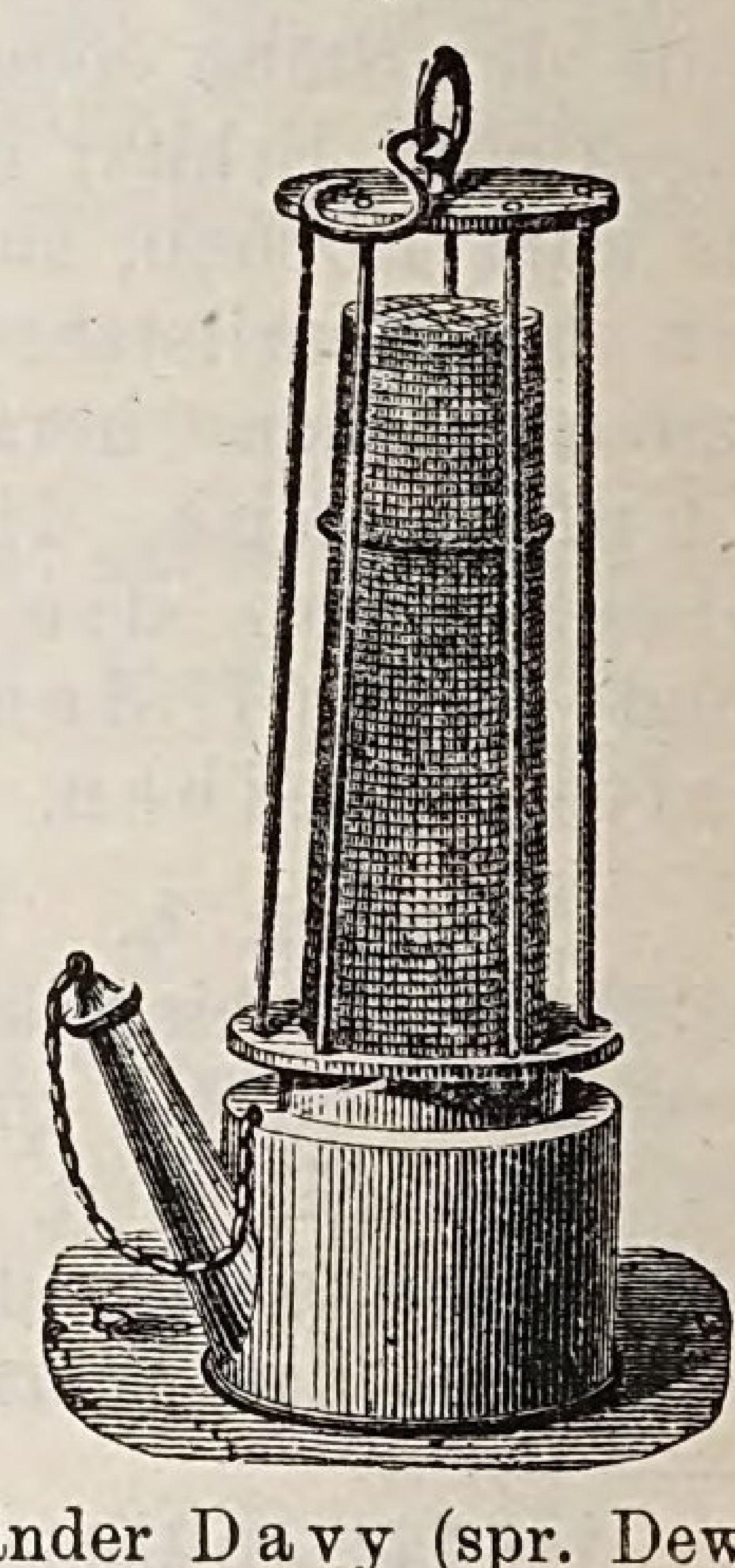


Fig. 117.



den **Sicherheitslampen** (Fig. 117), welche in Steinkohlengruben zum Schutze gegen sogen. schlagende Wetter dienen. Die Flamme einer Öllampe ist mit einem oben geschlossenen Cylinder aus Drahtgeflecht umgeben. Dadurch, daſs das in die Lampe eingedrungene brennbare Grubengas sich entzündet, wird der Bergmann auf die ihm drohende Gefahr aufmerksam gemacht und kann ihr häufig noch rechtzeitig entrinnen. Fig. 117 stellt die ursprüngliche, von dem Engländer Davy (spr. Dewi)

erfundene Einrichtung dar, welche zur Erhöhung des Schutzes später noch wesentlich verbessert worden ist, ohne jedoch vollkommene Sicherheit zu gewähren.

Im täglichen Leben machen wir von der ungleichen Wärmeleitung der Körper die mannigfachste Anwendung. Durch Kleidungsstücke, welche die Wärme schlecht leiten, vermögen wir uns am besten gegen Kälte wie gegen die schädlichen Einflüsse eines schnellen Temperaturwechsels zu schützen. Mit Stroh und anderen schlechten Wärmeleitern bedecken oder umhüllen wir im Winter Gegenstände, um sie vor Frost zu bewahren (Strohmatten in der Gärtnerei, Umwickeln von Brunnenpfosten, Bäumen u. dgl.), wie wir andererseits schlechte Wärmeleiter auch gegen das Eindringen der Wärme anwenden (hohle Mauern der Eiskeller, mit Asche oder dergl. ausgefüllte Doppelwände feuerfester Schränke u. s. w.). Um stark erwärmte Gegenstände ohne Gefahr angreifen zu können, bedienen wir uns ebenfalls schlechter Wärmeleiter (hölzerne Griffe an manchen metallenen Küchen- und Ofengeräten u. dgl.).

Auch in der Natur ist die ungleiche Wärmeleitung sehr wichtig. Da warmblütige Tiere zur Erhaltung ihres Lebens einer gleichmäfsigen inneren Temperatur bedürfen, so sind die Körper derselben durch schlechte Wärmeleiter gegen zu grofsen Wärmeverlust geschützt. Landsäugetiere, welche kalte Gegenden bewohnen, haben daher ein pelzartiges Haarkleid, während bei Wassersäugetieren der kalten Zone zu demselben Zwecke sich unter der Hautdecke Fettschichten ablagern. Der Körper der Vögel ist wegen der höheren Blutwärme und des ungünstigeren Verhältnisses, in welchem bei diesen Tieren die Oberfläche zur Masse des Körpers steht, mit dem noch schlechter leitenden Gefieder bedeckt, das um so flaumartiger wird, je kälter die Luft ist. Die Rinde der Bäume leitet die Wärme schlechter als das Holz und dieses quer zu den Fasern schlechter als in der Richtung derselben. Schutz der Knospen durch harzreiche Schuppen u. dgl., Schutz der Saaten durch Schnee.

Auf dem ungleichen Leitungsvermögen der Körper beruhen gewisse **Täuschungen**, denen wir ausgesetzt sind, wenn wir den Wärmegrad nach dem Gefühle beurteilen. Gute Wärmeleiter erscheinen uns nämlich wärmer als schlechte, wenn sie eine ziemlich hohe, hingegen kälter, wenn sie eine niedrige Temperatur haben, weil sie im ersteren Falle unserem Körper schneller Wärme zuführen, im letzterem Falle hingegen demselben schneller Wärme entziehen.

Übungsstoff. 1. Was wird eintreten, wenn man einen Zwirnsfaden fest um einen Schlüssel gewickelt einer Flamme aussetzt? Erkl.! — 2. Bekommt man auf steinernen oder hölzernen Fufsböden leichter kalte Füfse? Erkl.! (Tragen von Holzschuhen.) — 3. Erlischt eine glühende Kohle schneller auf einer Eisenplatte oder auf Asche? Grund? — 4. Wie läfst sich diese Eigenschaft der Asche zur Erhaltung der Glut in Öfen verwerten? — 5. An Hausthürgriffen friert die feuchte Hand bei starker Kälte leicht fest. Erkl.! — 6. Zerspringen Gläser leichter auf heifsen Metallplatten (z. B. im Ofen) oder auf Steinplatten? (Blatt Papier als Unterlage.) Erkl.! — 7. Unter einem Strohdache ist es im Winter wärmer, im Sommer dagegen kühler als unter einem Ziegel- oder Schieferdache; w.? — 8. Wozu werden Doppelfenster und Doppelthüren angewandt? Erkläre die Wirkung derselben. — 9. Wenn man bei starkem Froste die Füfse in den Stiefeln ein wenig zurückzieht, so empfindet man die Kälte nicht so sehr. Erkl.! — 10. Durch wollene Decken kann man sowohl heifse Gegenstände gegen das Erkalten, als Eis gegen das Schmelzen schützen. Erkläre diesen scheinbaren Widerspruch. — 11. Woraus erklärt es sich, dafs lockere, filzige K. die Wärme viel schlechter leiten als dichte K., welche aus demselben Stoffe bestehen (z. B. Schnee und Eis, Eisenfeilspäne und Eisen, Sägespäne und Holz, Daunen und grobe Federn u. s. w.)? — 12. Eine erhitzte eiserne Kugel und ein bis zu derselben Temp. erhitztes Stück Eisenblech von gleichem Gew. werden der Kälte ausgesetzt. Was von beiden wird schneller erkalten, u. w.? — 13. Wie verhält sich bei gleicher Form der Körper die Zunahme der Oberfläche zur Zunahme der Masse? (Abzuleiten aus Würfeln von etwa 1, 2 und 3 cm Kantenlänge.) — 14. Wie erklärt es sich hieraus, dafs kleine Tiere (unter gleichen äufseren Verhältnissen) einer schlecht leitenden Körperhülle im allgemeinen mehr bedürfen als

grofse? — 15. Führe Fälle an, in denen das Betasten von Körpern leicht zu einem falschen Urteil über die Temp. derselben führt.

§ 35. Verbreitung der Wärme durch Strömung.*)

Könnte die Wärme in flüssigen und luftförmigen Körpern sich nur durch Leitung fortpflanzen, so würde wegen des geringen Leitungsvermögens dieser Körper z. B. in Kochgefäfsen das Wasser seine Temperatur oben nur wenig geändert haben, wenn es sich unten bereits bis zum Sieden erhitzt hätte; die Wärme unserer Öfen würde zwar in deren Nähe, nicht aber im ganzen Zimmer fühlbar sein. Die tägliche Erfahrung lehrt nun, dafs die Wärme in solchen Fällen sich ziemlich gleichmäfsig verbreitet. Es liegt daher die Vermutung nahe, dafs die Wärme sich in Flüssigkeiten und Gasen noch in anderer Weise als durch Leitung fortpflanzen kann. Erfolgt die Erwärmung wie in den angeführten Beispielen von unten, so ist bei dem geringen inneren Zusammenhange solcher Körper zu erwarten, dafs die erwärmten Teile, da sie sich durch Wärme ausdehnen und somit specifisch leichter werden, in der übrigen Masse aufsteigen und kältere Teile wieder an ihre Stelle treten.

Versuch a. Wird in einer Kochflasche (Fig. 118) Wasser, welchem Sägemehl oder gepulverte Holzkohle beigemischt ist, langsam erhitzt, so ist an dem Auf- und Absteigen der festen Teilchen in der Flüssigkeit deutlich eine Strömung zu erkennen, welche von der erwärmten Stelle aus aufwärts, in der Umgebung derselben abwärts gerichtet ist.

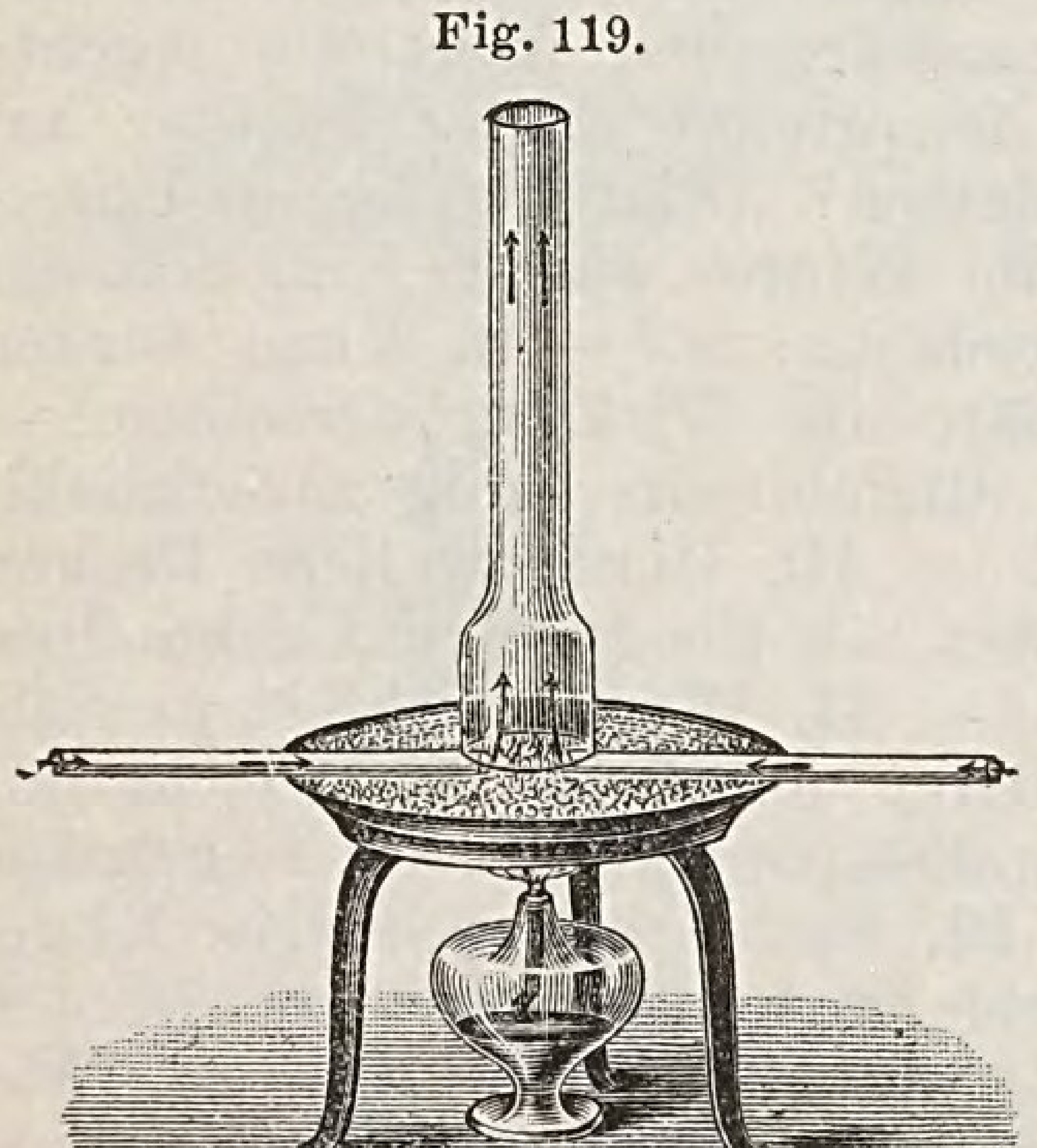
Fig. 118.



Flüssigkeiten pflanzen die Wärme von unten nach oben ziemlich rasch durch Strömung fort.

In der Natur findet durch die Sonnenstrahlen eine Erwärmung des Wassers von oben statt. Da die Wärme sich in diesem Falle nur durch Leitung fortpflanzen kann, so erfolgt die Erwärmung von sehr tiefen stillstehenden Gewässern nach unten hin äufserst langsam. In fliefsenden Gewässern tritt leicht eine Mischung ein.

Fig. 119.



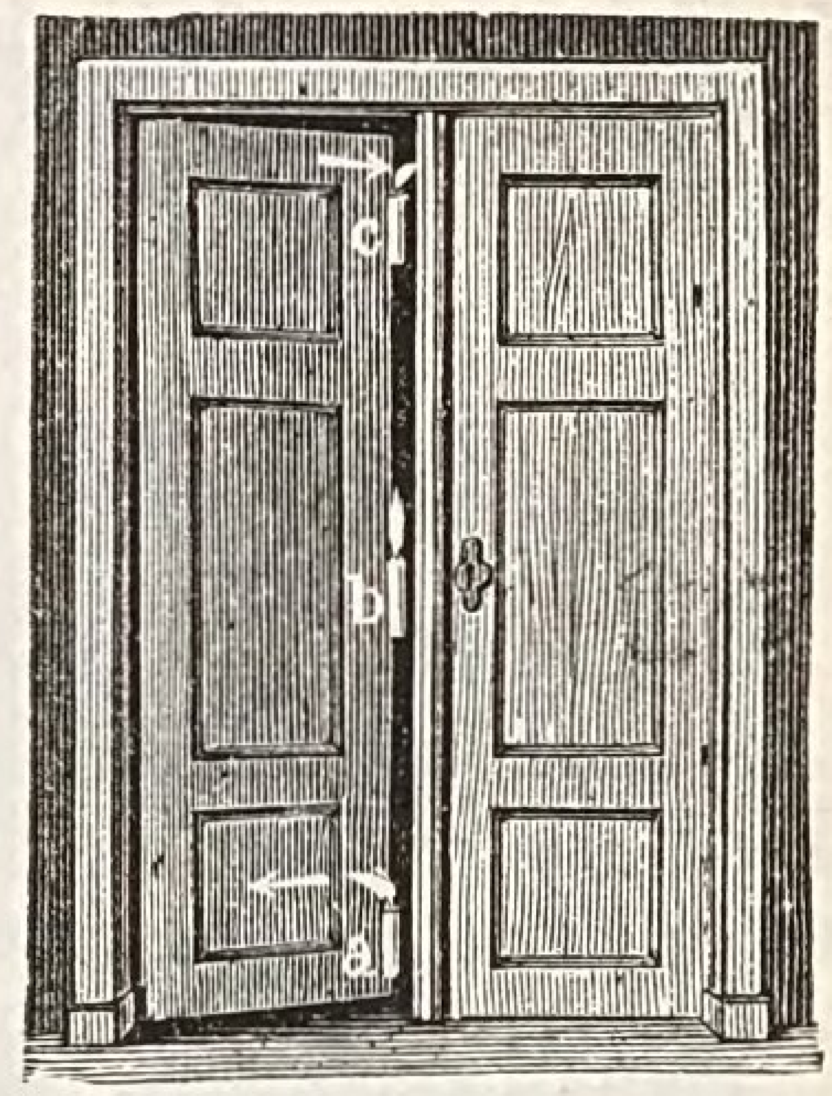
Versuch b. Stellt man auf eine mit Sand gefüllte und ziemlich stark erwärmte Schale von Eisenblech (Fig. 119) über die einander zugekehrten Mündungen zweier etwa 1 cm weiten Glasröhren einen Lampencylinder, so giebt sich in den Röhren wie im Cylinder sehr deutlich eine Luftströmung zu erkennen, wenn man in das äufsere Ende der Röhren je ein Stückchen glimmenden Zündschwammes legt.

Andere ähnliche Erscheinungen: 1. In geheizten Zimmern ist bei direk-

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 127 ff.

tem Sonnen- oder sehr hellem Lampenlichte auf einer weifsen Wand, welche mit dem (eisernen) Ofen in der Richtung der Lichtstrahlen liegt, ein unregelmäfsig gekräuselter Schatten wahrnehmbar, der sich beständig aufwärts bewegt. — 2. Wird eine Flamme (Fig. 120) in die Spalte einer ein wenig geöffneten und nach einem kälteren Raume führenden Thür gehalten, so ist sie unten nach innen, oben hingegen nach aufsen gerichtet. (Erklärung!)

Fig. 120.



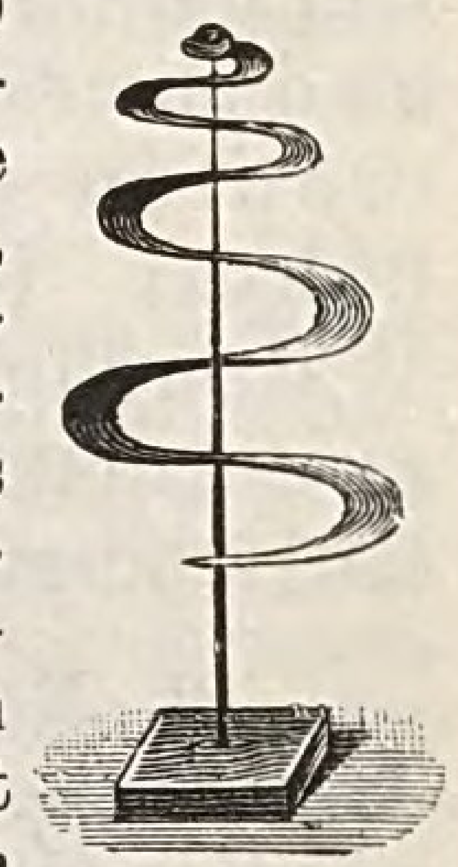
Luftförmige Körper verbreiten die Wärme fast nur durch Strömung.

Im praktischen Leben wird bei Heizvorrichtungen das Aufsteigen der erhitzten Luft dadurch befördert, dafs man die Luft durch Schornsteine ziehen läfst. Dasselbe geschieht im kleinen bei unseren Lampen durch Anwendung gläserner Cylinder. Da die erhitzte Luft auf diese Weise sich nicht so schnell abkühlen kann, als wenn sie frei aufsteigt, so bewegt sie sich schneller aufwärts und vermag höher hinaufzusteigen als sonst. Der Luftzug von unten ist demnach stärker, als er sonst sein würde. Dadurch wird eine bessere Verbrennung erreicht. Dies gewährt bei Lampen die Annehmlichkeit, dafs die Flammen besser leuchten, bei Heizvorrichtungen den Vorteil, dafs das Brennmaterial mehr Hitze entwickelt.

Auch in der Atmosphäre werden durch Erwärmung Strömungen hervorgerufen. Indem die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurchgehen, geben sie an die Luft nur wenig Wärme ab; sie erwärmen vielmehr den festen Boden und die Gewässer, sodafs die Luft erst von hieraus ihre Wärme erhält. Die Luft ist somit in ihren Wärmeverhältnissen von der Temperatur ihrer Unterlage (Boden und Wasser) abhängig. Dies lehrt schon die tägliche Erfahrung. Während z. B. im Sommer die Luft über dem Wasser kühl ist wie das Wasser selbst, steigt die Temperatur über dem festen Lande oft bis zu kaum erträglicher Hitze. Je stärker nun ein Teil der Erdoberfläche sich erwärmt, um so mehr erlangt (nach Versuch a) die Luft das Bestreben, in der Atmosphäre aufzusteigen. Indem beim Aufsteigen von allen Seiten Luft nachströmt, entstehen **Winde.**

Übungsstoff. **1.** Warum läfst sich W. von unten schneller erwärmen als von oben? — **2.** In einer Papierdüte läfst sich W. über einer Flamme bis zum Kochen erhitzen. Erkl.! — **3.** Was wird eintreten, wenn man über dem Cylinder einer brennenden Lampe Staubteilchen (Mehl, Asche oder dergl.) verschüttet? — **4.** Warum mufs der in manchen Kochherden angebrachte Wasserkessel stets so weit mit W. gefüllt sein, als die Flamme hinaufreicht? — **5.** Die Wände von Dampfkesseln verbrennen leicht, wenn sich viel Kesselstein in denselben abgelagert hat; w.? — **6.** Erkläre das Anbrennen von Speisen. — **7.** Welche Ersch. zeigt eine Papierspirale (Fig. 121) auf einem geheizten Ofen? Erkl.! — **8.** Einflufs eines Lampencylinders a. auf Temp. und Geschw. der von der Flamme aufsteigenden Gase, b. auf die Geschw. der zuströmenden Luft? Erkl.! — **9.** Beurteile hiernach die Wirkung der Schornsteine. — **10.** Welchen Einflufs mufs die Höhe der Schornsteine auf Temp. und Rauminhalt der darin aufsteigenden Gase ausüben? — **11.** Welche Form müssen demnach hohe Schornsteine haben, damit von oben keine kalte Luft eindringen kann? — **12.** Welchen Einflufs würde es auf Temp. und Rauminhalt jener Gase ausüben, wenn sich die Wärme derselben der Wand des Schornsteines schnell mitteilte? — **13.** Welche Beziehung mufs hiernach zwischen der Weite eines Schornsteines und dem Leitungsvermögen des betr. Baumaterials (Eisen oder Stahl) bestehen? (Blechrohr auf einem steinernen Schornsteine.) — **14.** Wie ist es zu er-

Fig. 121.



klären, dafs Schornsteine am besten ziehen, wenn das Feuer schon eine Zeitlang gebrannt hat? — 15. Warum werden in Zimmern die Öffnungen zum Eintritte frischer Luft unten, die Abzugsröhren dagegen oben angebracht? — 16. Warum lassen sich Wohnzimmer im Winter schneller lüften als im Sommer? — 17. Welche Luftbewegung würde eintreten müssen, wenn man die Luft im Cylinder (Fig. 119) von unten ebenso stark abkühlen könnte?

C. Die atmosphärischen Niederschläge.*)

§ 36. Da Wasser bei jeder Temperatur verdunstet, so mufs die Atmosphäre stets Wasserdämpfe enthalten. Dies gilt nicht nur von der Luft über dem Meere, den Flüssen u. s. w. sondern auch von der Luft über dem festen Lande, da letzteres ebenfalls Feuchtigkeit enthält und durch Winde ein beständiger Austausch der Luft unterhalten wird. Zum Nachweise der Wasserdämpfe bietet die Abkühlung (nach § 32) ein geeignetes Mittel, da die Dämpfe sich hierdurch in den flüssigen und festen Zustand überführen, also in sichtbare Körper verwandeln lassen.

Versuch. Füllt man ein Glas- oder Blechgefäfs mit einer Kältemischung**) (Schnee und Kochsalz), so wird es aufsen zunächst feucht und überzieht sich schliefslich mit einer weifsen, aus feinen Eisnadeln bestehenden Kruste. Erklärung!

Erkläre auch folgende bekannte Erscheinungen: Das sogen. „Beschlagen" und „Gefrieren" der Fensterscheiben; das Anlaufen der Brillengläser, wenn der Brillenträger im Winter aus dem Freien in ein warmes Zimmer kommt; das Beschlagen eines mit kaltem Wasser gefüllten Glases im warmen Zimmer; das Anlaufen blanker metallener Gegenstände, wenn sie aus einem kalten Raume in einen wärmeren gebracht werden.

Wir gelangen hierdurch zu dem Schlusse, dafs die atmosphärischen Niederschläge (Tau, Reif, Nebel, Wolken, Regen, Schnee u. s. w.) durch Abkühlung der in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdämpfe entstehen. Welche Vorgänge im einzelnen dabei stattfinden, ergiebt sich hauptsächlich durch genaue Beobachtungen in der Atmosphäre selbst.

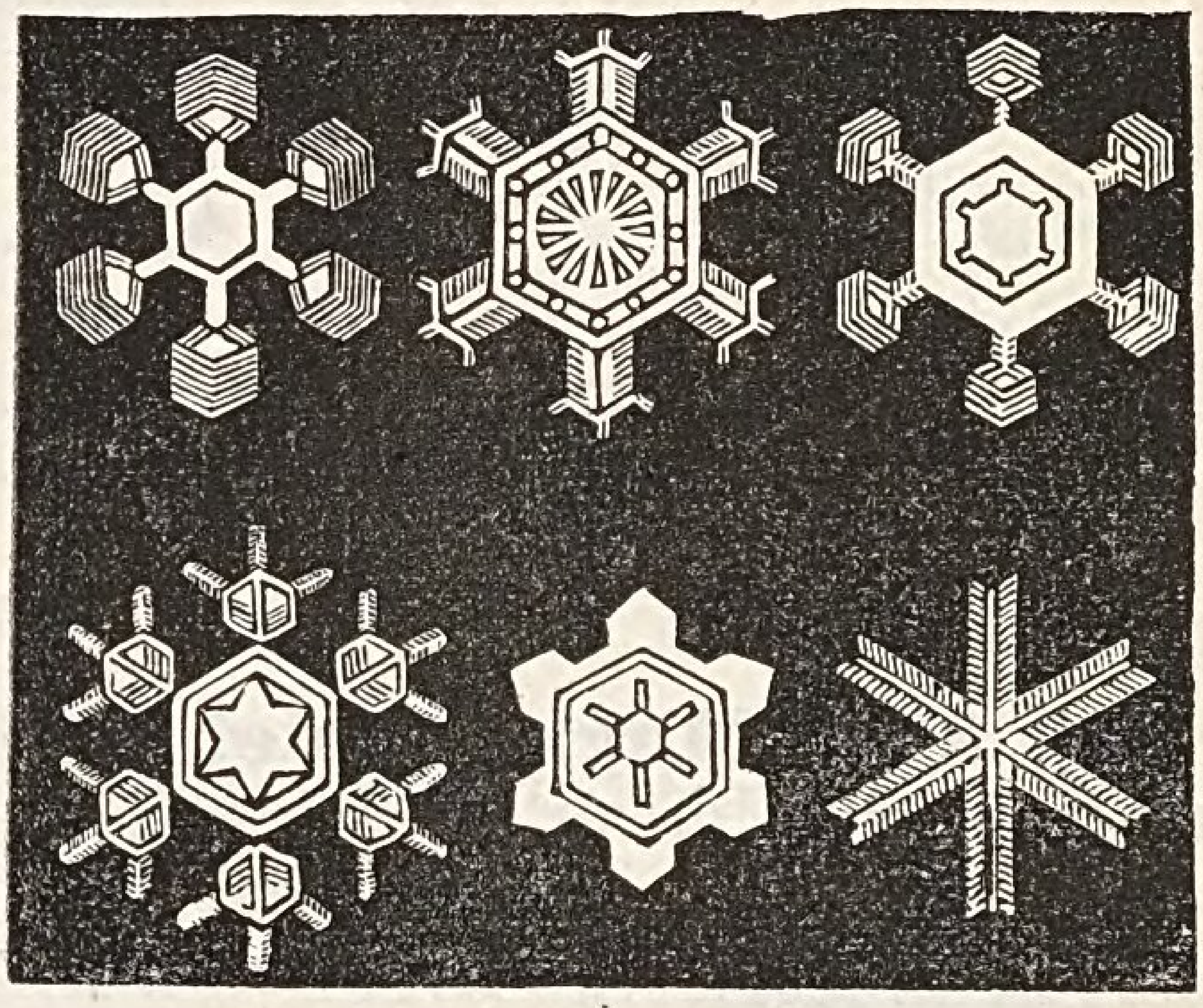
1. Tau und Reif. In heiteren Nächten kühlt sich der Boden mit den darauf befindlichen Gegenständen oft stark ab. Nach solchen Nächten sind die Gegenstände im Sommer gewöhnlich mit zahlreichen Wassertropfen *(Tau)*, im Frühling und Herbst mit feinen Eisnadeln *(Reif)* bedeckt. Tau und Reif entstehen dadurch, dafs die in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe sich auf den erkalteten Gegenständen verdichten, und zwar entsteht Tau, wenn die Abkühlung den Gefrierpunkt nicht erreicht, Reif hingegen, wenn die Temperatur bis 0^0 und tiefer sinkt.

2. Nebel und Wolken. Findet in der Luft selbst eine genügende Abkühlung statt, so bilden sich aus dem Wasserdampfe unzählige sehr kleine Wasserkügelchen, welche wegen ihrer Leichtigkeit äufserst langsam niedersinken oder von der Luft getragen werden. In der Nähe der Erdoberfläche erscheinen sie als *Nebel*, in den höheren Luftschichten als *Wolken*.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 130. — **) § 119.

3. Regen, Schnee, Graupeln, Hagel. Wenn die Kügelchen oder Bläschen, aus denen die Wolken bestehen, sich zu gröfseren Tropfen vereinigen, so fallen sie aus der Luft herab: es entsteht *Regen*. — Kühlen sich Wolken bei Windstille bis unter 0° ab, so entstehen sechsstrahlige Eiskrystalle von den verschiedensten Formen (Fig. 122), welche als *Schnee* niederfallen. — Bei raschem Temperaturwechsel im Frühling oder Herbst bilden sich aus den in der Luft schwebenden Eiskrystallen bei starker Luftbewegung leicht kleine Schneebälle: *Graupeln*. — Gröfsere Eiskörner, deren Herabfallen aus der Luft meist während eines Gewitters stattfindet, bezeichnet man als *Hagel*. Hagelkörner sind gewöhnlich aus verschiedenen Schichten Eis zusammengesetzt, welche einen graupelartigen Kern umschliefsen.

Fig. 122.



Die meisten Wasserdämpfe, welche die Luft enthält, und die als Regen, Schnee u. s. w. niederfallen, entstammen dem Meere. Auf demselben findet, namentlich in den heifsen Erdstrichen, fortwährend eine starke Verdunstung statt, sodafs die Luft jener Gegenden stets reich mit Wasserdämpfen angefüllt ist. Diese können, soweit sie sich nicht über dem Orte ihrer Entstehung schon wieder zu Wolken verdichten, durch Winde weit entfernten Ländern zugeführt werden. Indem das Wasser der atmosphärischen Niederschläge in den Boden eindringt, wird dieser fruchtbar. Das in den Bächen, Flüssen u. s. w. sich ansammelnde Wasser fliefst vermöge der Schwere wieder ins Meer zurück. (Kreislauf des Wassers.)

Übungsstoff. 1. Wie ein Ofenschirm die Ofenwärme zurückhält, so halten Wolken und über dem Boden befindliche Gegenstände die Bodenwärme zurück. Erkläre hiernach, dafs sich nach taureichen Nächten unter Tischen, Bänken u. s. w. im Freien kein Tau findet, während diese Gegenstände selbst mit Tau bedeckt sind. — 2. Wenn Tau durch eine starke Abkühlung der Gegenstände entsteht, wie ist dann die Thatsache zu erklären, dafs z. B. Wiesen bei gleichfreier Lage stets bedeutend stärker betaut sind als Kieswege? — 3. Welchen Grund mag es haben, dafs die dünnen Zweige der Bäume stets stärker bereift sind als die dicken? — 4. Ferner dafs Thürschlösser, sowie die Köpfe eiserner Nägel in den Wänden stets stärker bereift sind als die Thüren und Wände selbst. — 5. Wann ist unser Atem sichtbar und wann nicht? Erkl.! — 6. Der aus dem Schornstein einer Lokomotive aufsteigende Dampf (nicht mit dem Rauch zu verwechseln!) verdichtet sich erst in einigem Abstande vom Schornsteine zu Nebel; w.? — 7. Die Wolkenfahne einer Lokomotive ist im Winter bedeutend länger als an heifsen trockenen Sommertagen. Erkläre dies. — 8. Nach langer Dürre verschwinden häufig die heranziehenden Wolken wieder. Erkl.! — 9. Wenn warme, feuchte Winde nach kälteren Ländern hin wehen, so können leicht Wolken entstehen; weht dagegen ein kalter, feuchter Wind in ein wärmeres Land, über welchem die Luft trocken ist, so können sich nur dann Wolken bilden, wenn der Wind zu gröfseren Höhen aufsteigt. Grund! — 10. Was wird eintreten, wenn ein kalter Wind in ein Land weht, über welchem die Luft sehr schwül ist, d. h. bei einer hohen Temp. sehr viel Wasserdämpfe enthält? — 11. Wenn nach starkem Froste Tauwetter eintritt, so sehen Mauern wie bereift aus. Erkl.! — 12. Fällt dabei ein feiner Regen, so entsteht Glatteis, wäh-

rend bei starkem Regen diese Ersch. nicht eintritt. Erkl.! — **13.** Wie ist es zu erklären, dafs wässerige Niederschläge an Doppelfenstern weniger vorkommen als an einfachen, und in bewohnten Zimmern mehr als in unbewohnten?

VI. Abschnitt.

Vom Magnetismus.

§ 37. Magnetnadel. Magnetische Grunderscheinungen.*) Um zu jeder Zeit die Himmelsgegenden schnell und sicher bestimmen zu können, bedient man sich des bekannten, als Kompafs bezeichneten Instrumentes, das in seiner einfachsten Einrichtung aus einer kleinen messingenen Kapsel besteht, in welcher eine **Magnetnadel** leicht drehbar aufgehängt ist (Fig. 123). Leztere ist ein dünnes *Stahlstäbchen, das auf einer senkrecht stehenden Spitze ruht und die Eigenschaft besitzt, in seiner Ruhelage mit dem einen Ende nach Norden und mit dem anderen Ende nach Süden zu zeigen.* Zur Verminderung der Reibung pflegt in der Mitte der Magnetnadel ein Achathütchen angebracht zu sein, in welches die Spitze eingreift. Auf dem Boden der Kapsel befindet sich gewöhnlich eine sternförmige Zeichnung, welche die Himmelsgegenden angiebt und Windrose genannt wird (Fig 124).

Fig. 123.

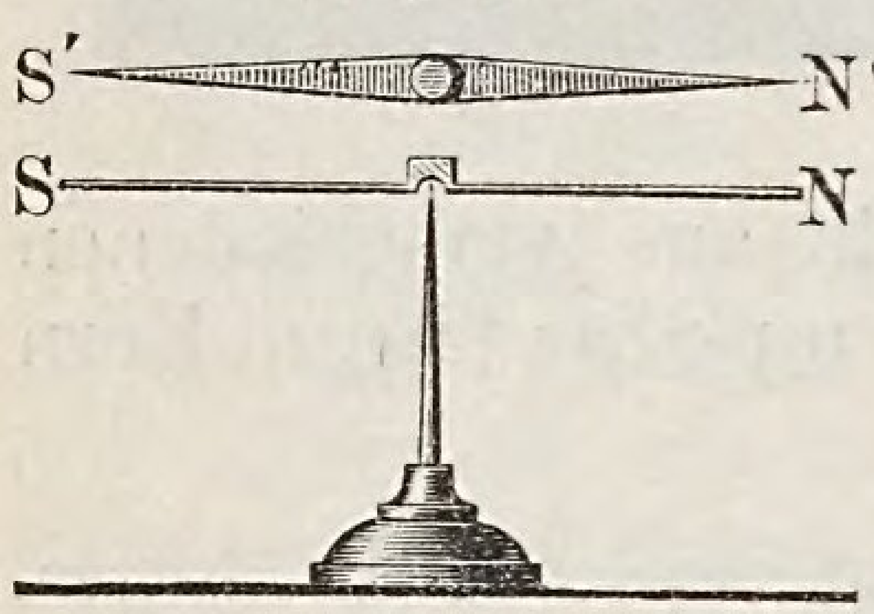
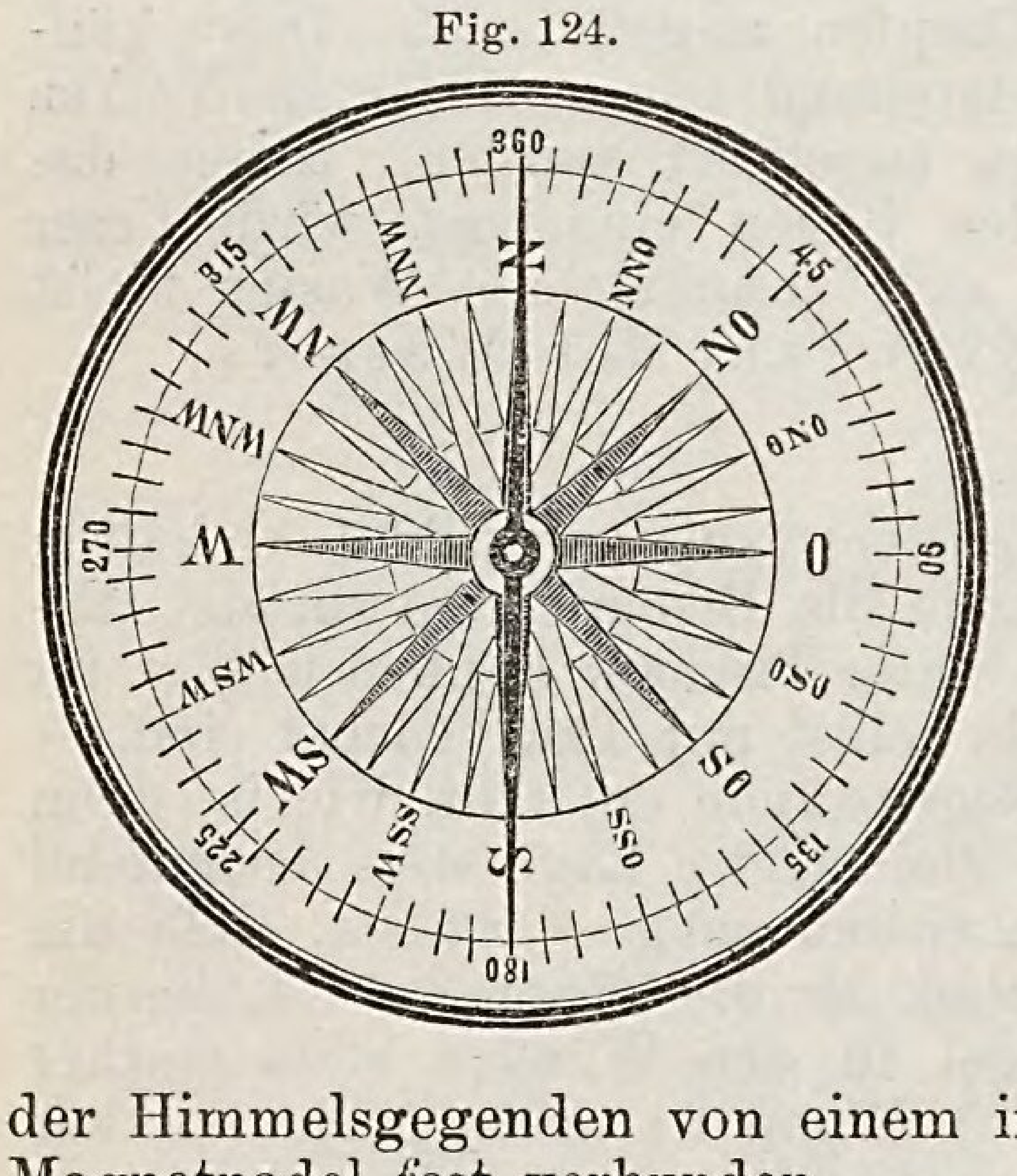


Fig. 124.



Der von Schiffern zur Orientierung auf der See gebrauchte Kompafs besteht aus einem ziemlich grofsen kesselförmigen Gehäuse aus Kupferblech, in welchem ein Magnetstab so unterstützt ist, dafs er bei jeder Stellung des Schiffes in wagerechter Lage bleibt. Die Windrose ist bei demselben zur genauen Bestimmung der Himmelsgegenden von einem in Grade geteilten Kreise umgeben und mit der Magnetnadel fest verbunden.

Versuch a. Wird eine Magnetnadel aus ihrer Richtung gebracht und dann sich selbst überlassen, so kehrt sie stets wieder in die ursprüngliche Lage zurück, vorausgesetzt, dafs kein Eisen oder Stahl sich in ihrer Nähe befindet. — Bei Annäherung von Eisen oder Stahl wendet sich die Nadel mit ihrer Spitze um so mehr nach dem Metalle hin, je mehr es der Nadel genähert wird. Nach gegenseitiger Berührung haften beide aneinander. Umgekehrt wendet sich auch eine leicht bewegbare eiserne Nadel (Fig. 126, folg. Seite) nach der genäherten

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 131.

Magnetnadel, wie nach jedem Stahlstabe hin, welcher bei freier Aufhängung (Fig. 125) die Eigenschaft der Magnetnadel zeigt. Diese Erscheinung tritt auch dann noch ein, wenn ein Blatt Papier, ein dünnes Brett, eine Glasscheibe oder dergl., überhaupt ein nicht aus Eisen oder Stahl bestehender Körper eingeschaltet wird.

Fig. 125.

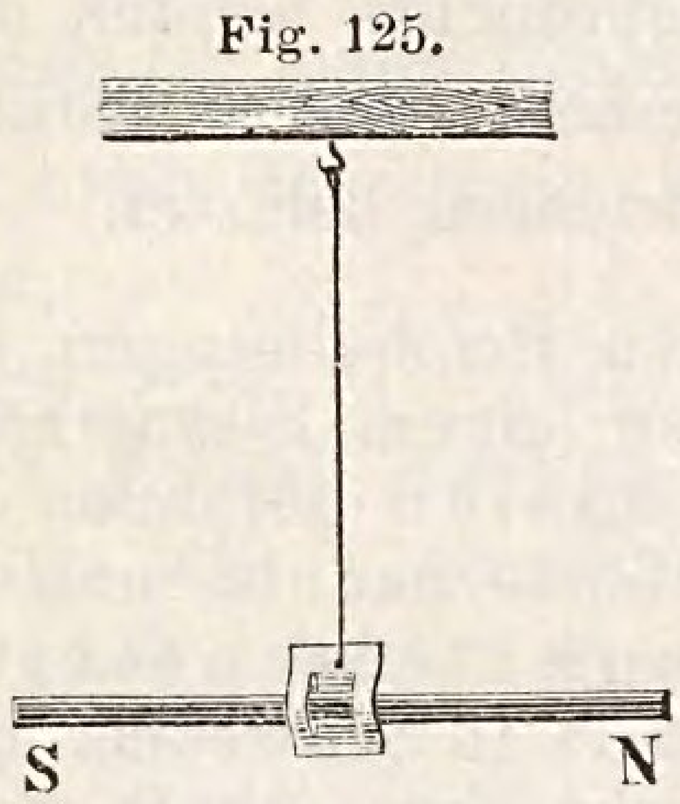
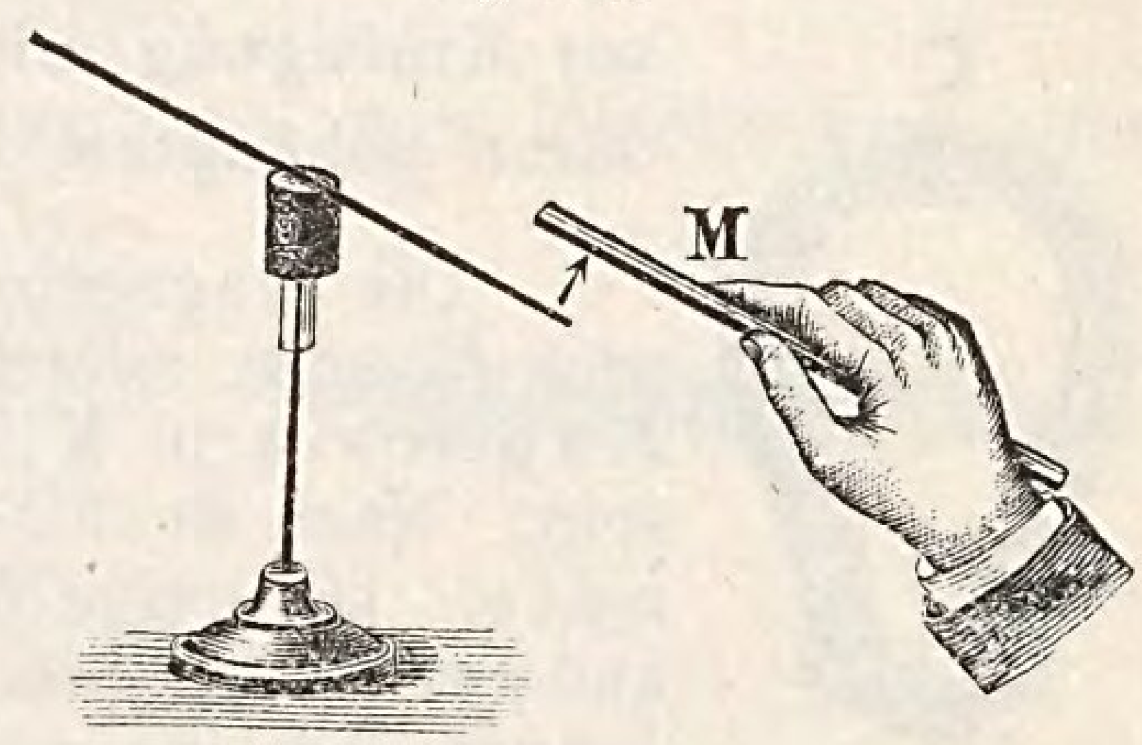


Fig. 126.



Ein Körper, welcher die Eigenschaft besitzt, Eisen anzuziehen und festzuhalten, wird **Magnet** *genannt. Das, was dem Eisen diese Kraft der Anziehung (magnetische Kraft) verleiht, bezeichnet man als* **Magnetismus.**

Ein frei beweglicher Magnet nimmt in seiner Ruhelage stets eine bestimmte Richtung an (von N nach S).

Ein Magnet und Eisen ziehen sich gegenseitig an und zwar um so stärker, je mehr sie einander genähert werden.

Versuch b. Bestreut man einen Magnet ganz mit Eisenfeilspänen, so giebt sich deutlich zu erkennen, dafs die Anziehung an den beiden

Fig. 127.

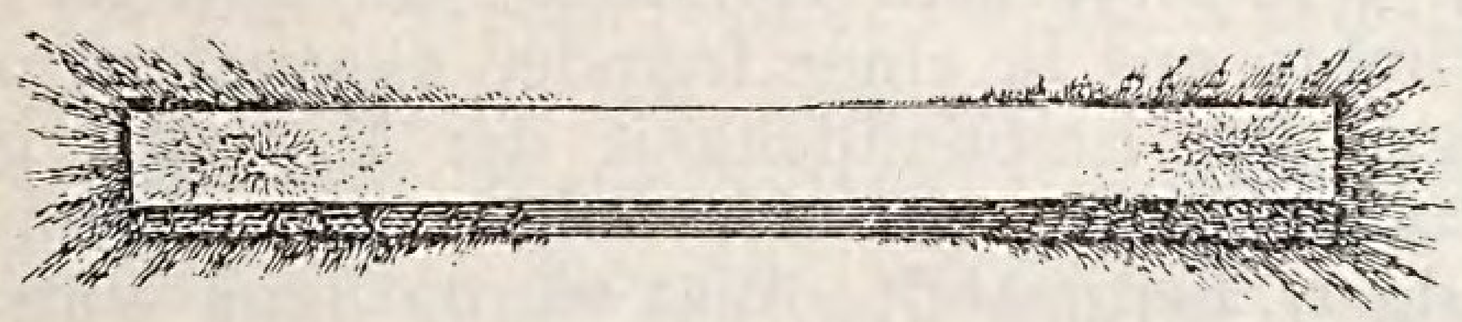
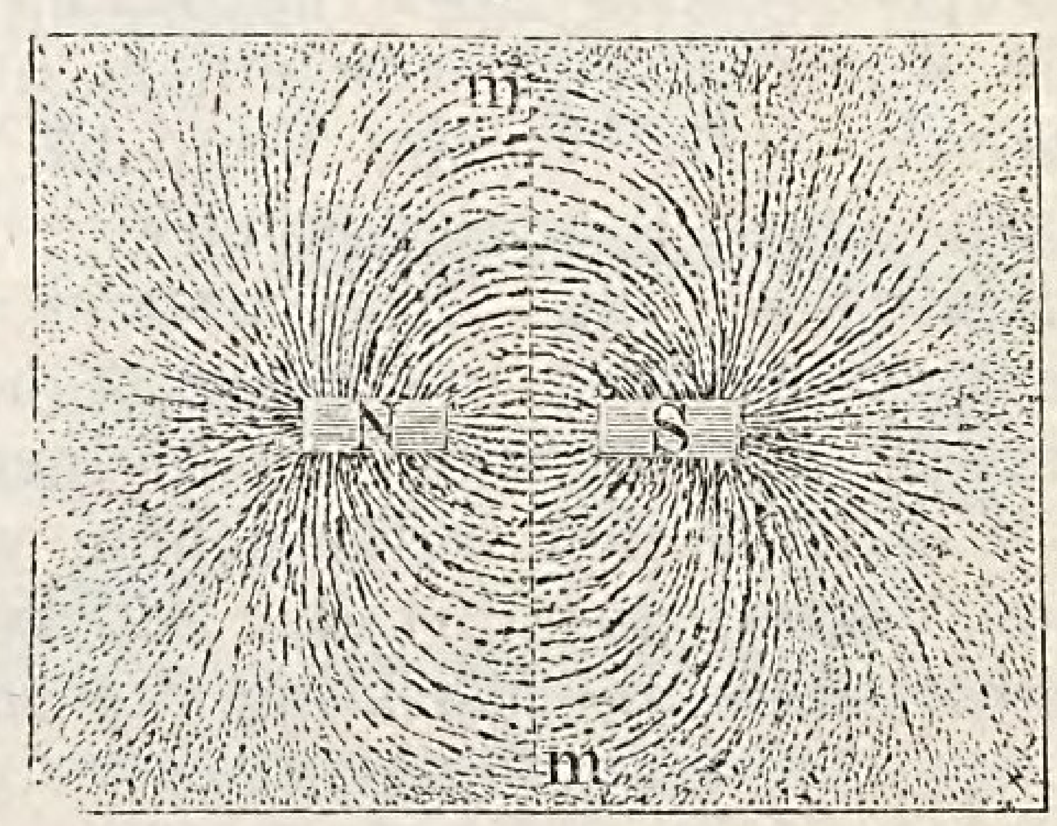


Fig. 128.



Enden des Magnets am stärksten ist und nach der Mitte hin allmählich abnimmt (Fig. 127). Wenn man den Magnetpol unter ein mit feinen Eisenfeilspänen bestreutes Blatt Papier hält und dieses wiederholt leise erschüttert, so ordnen sich die Feilspäne in krummen Linien, welche eine magnetische Figur bilden (magnetische Kurven oder magnetische Kraftlinien, Fig. 128). Derartige Versuche lehren:

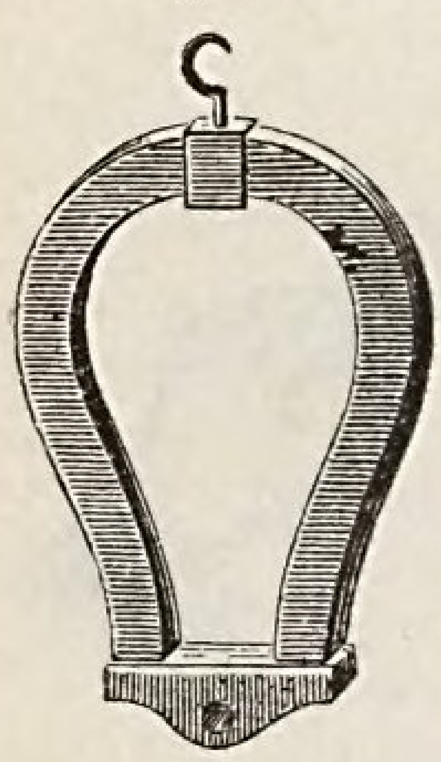
Die Stärke der Anziehung ist bei jedem Magnet an verschiedenen Stellen seiner Oberfläche verschieden.

Die Stellen stärkster Anziehung eines Magnets heifsen **Pole** *(Nordpol und Südpol). Die Stelle, an welcher ein Magnet keine Anziehung äufsert, wird* **Indifferenzstelle** *genannt. Der Raum um einen Magnetpol, innerhalb dessen sich eine magnetische Wirkung zu erkennen giebt, heifst* **magnetisches Feld.**

Lange stabförmige Magnete äufsern bisweilen in mehreren Punkten eine stärkere Anziehung. Gewöhnlich sind jedoch nur 2 derartige Punkte vorhanden, welche nahe an den Enden des Magnets liegen. Mitten zwischen denselben ist gar keine Wirkung wahrnehmbar. Magneten, welche nicht wie die Magnetnadel wegen ihrer

Richtkraft, sondern wegen ihrer Anziehungskraft benutzt werden, pflegt man, damit beide Pole zugleich auf das Eisen einwirken können, Hufeisenform zu geben (Fig. 129).

Fig. 129.



Während des Nichtgebrauches werden solche Magnete aufgehängt und zur Kräftigung mit einem Anker (Stäbchen aus weichem Eisen) und daran gehängten Gewichten belastet.

Die magnetischen Erscheinungen sollen von den alten *Griechen* und *Römern* zuerst an einem Eisenerze, das in der Nähe der Stadt Magnesia in Kleinasien gefunden wurde, wahrgenommen worden sein. Nach dem Fundorte nannte man diese schwarzen Steine Magnete. Derartige Magneteisensteine finden sich noch an vielen anderen Orten, besonders in Schweden, Lappland und Spanien. Sie erlangen ihre magnetische Eigenschaft meist erst nach längerem Liegen an der Luft. Da auch in metallischem Eisen und Stahl Magnetismus hervorgerufen werden kann, so unterscheidet man **natürliche** und **künstliche Magnete.**

Schon vor mehreren tausend Jahren sollen die *Chinesen* auf Land- und Seereisen sich der Magnetnadel bedient haben. In Europa scheint dieselbe erst im 14. Jahrhundert bei der Schiffahrt eine allgemeine Anwendung gefunden zu haben. Von anderen magnetischen Erscheinungen war im Altertum und im Mittelalter nichts bekannt; erst die Entdeckungen des englischen Arztes Gilbert (1600) gaben die Anregung zu weiteren Untersuchungen.

Übungsstoff. 1. Welchen Vorteil bietet es, die Himmelsgegenden mit dem Kompafs statt nach dem Stande der Sonne zu bestimmen? — 2. Die beiden Hälften der M.-Nadeln sind gewöhnlich äufserlich verschieden (z. B. die Nordhälfte blau, die Südhälfte stahlgrau); warum wohl? — 3. Mit welchem Vorteil wendet man statt der Messinghütchen bei M.-Nadeln Achathütchen an? (Achat ist ein Stein, welcher bedeutend härter ist als Messing.) — 4. Warum darf das Gehäuse eines Kompasses kein Eisen enthalten? — 5. Wie mufs man verfahren, um mittelst Karte und Kompafs sich von einem hohen Punkte aus in einer fremden Gegend zu orientieren? — 6. Welche Vorsicht ist wegen der Empfindlichkeit der M.-Nadel gegen Eisen hierbei anzuwenden? — 7. Angenommen, auf der Schale einer gemeinen Krämerwage läge Eisen und es wäre Glgew. hergestellt. Was würde dann eintreten, wenn man einen kräftigen M. unter die Schale hielte? — 8. Wie läfst sich mittelst eines M. ein Gemisch von kleinen Eisen- und Messingstiften oder dergl. sortieren? — 9. Wie läfst sich untersuchen, welcher von 2 Magneten der stärkere ist? — 10. Welchen Vorteil gewährt die Hufeisenform eines M.? — 11. Aus welchem Versuche geht hervor, dafs die Wirkung der magn. Kr. eine Gegenwirkung erzeugt?

§ 38. Wechselwirkung zweier Magnete. Magnetische Verteilung.

a. Wechselwirkung zweier Magnete. Die beiden Pole eines Magnets lassen in ihrem Verhalten gegen unmagnetisches Eisen keinen Unterschied erkennen, dagegen deutet das Verhalten der frei bebeweglichen Magnetnadel auf eine Verschiedenheit der in den Polen wirkenden Kräfte hin. Dies tritt deutlich hervor, wenn man zwei Magnete aufeinander einwirken läfst.

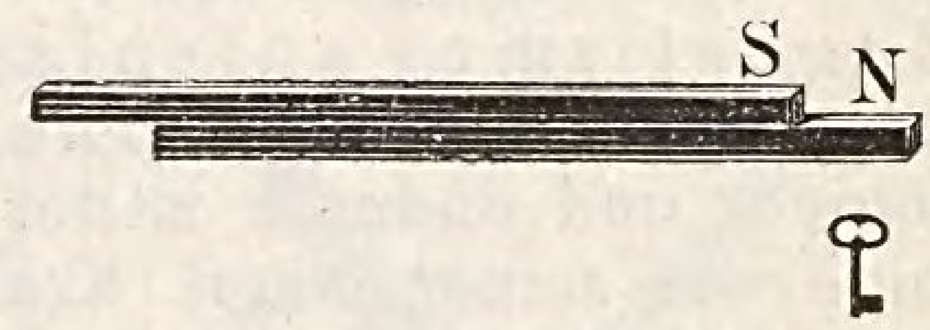
Versuch a. Werden zwei Magnetstäbe, von denen einer leicht bewegbar ist, oder zwei Magnetnadeln einmal mit ihren gleichnamigen, einandermal mit ihren ungleichnamigen Polen einander genähert, so ergiebt sich das Gesetz der magnetischen **Polarität:**

Gleichnamige Magnetpole stofsen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

Die Abstofsung gleichnamiger Magnetpole bietet das beste Mittel zur Untersuchung, ob ein Körper magnetisch ist, sowie zur Bestimmung der Pole eines Magnets. In dieser Weise gebraucht, bildet die Magnetnadel ein **Magnetoskop**, d. h. einen Anzeiger magnetischer Kraft.

Versuch b. Hängt man an einen Magnetpol ein Eisenstück, das er eben zu tragen vermag, so fällt es wieder ab, wenn man diesem Pole den ungleichnamigen Pol eines anderen ebenso starken Magnets genügend nähert (Fig. 130); es wird dagegen stärker angezogen, wenn man den gleichnamigen Pol nähert.

Fig. 130.



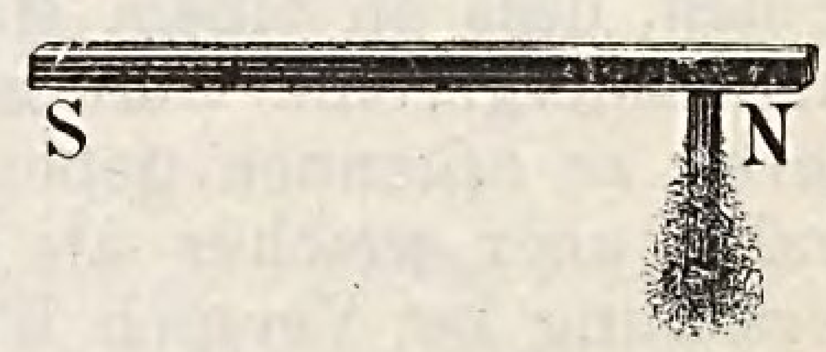
Die magnetische Wirkung wird durch den gleichnamigen Pol verstärkt, durch den ungleichnamigen dagegen geschwächt.

Zur Erklärung dieser Gegensätze der Magnetpole nimmt man an, dafs in jedem Magnet zwei verschiedene magnetische Kräfte wirken. Man unterscheidet dieselben als **Nord-** und **Südmagnetismus.**

b. Magnetische Verteilung. Da auf unmagnetischem Eisen jeder einzelne Pol eine Anziehung ausübt, die entgegengesetzten Pole aber sich in ihrer Wirkung aufheben (Fig. 130), so läfst sich vermuten, dafs im Zustande des Eisens unter der Einwirkung eines Magnets eine Änderung hervorgerufen wird, von welcher die Anziehung desselben abhängt.

Versuch c. Wird ein kurzes Stäbchen von gewöhnlichem Eisen oder Stahl mit einem kräftigen Magnetpole in Berührung gebracht (Fig 131), so vermag es wie ein Magnet Eisenfeilspäne festzuhalten; dieselben fallen bei Entfernung des Magnets aber meistens wieder ab. Untersucht man darauf das Stäbchen mittelst einer Magnetnadel auf seine Polarität, so erweist sich das Ende, welches vom Magnetpole abgewandt war, als gleichnamig, das ihm zugewandte Ende als ungleichnamig magnetisch. — Bei einem Stäbchen aus weichem (wiederholt ausgeglühtem) Eisen dauert der magn. Zustand nur solange an, als das Eisen unter der Einwirkung des Magnetpoles steht, die Magnetisierung aber ist eine stärkere und erfolgt selbst bei gröfseren Stäben schon in einiger Entfernung vom Magnetpole. (Nachweis mittelst der Magnetnadel.)

Fig. 131.



Eisen wird durch die blofse Annäherung eines Magnetpoles selbst magnetisch, und zwar erhält das abgewandte Ende den gleichnamigen, das zugewandte den ungleichnamigen Pol: **Magnetische Verteilung.**

Aus den Versuchen über magn. Verteilung kann man schliefsen, dafs die Anziehung zwischen einem Magnet und Eisen oder Stahl auf der Wechselwirkung zweier ungleichnamigen Magnetpole beruht. Der Magnet ruft zuerst durch Verteilung in den ihm zunächst gelegenen Ende des Eisenstückes den entgegengesetzten Magnetismus hervor und zieht es dann an.

Der Anziehung geht also immer eine magnetische Verteilung voraus.

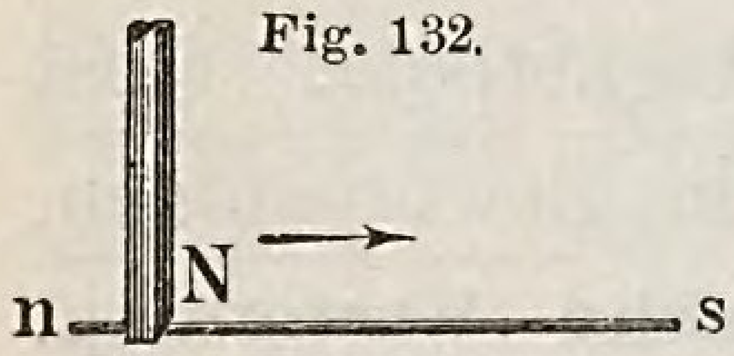
Weiches Eisen und *hartes Eisen oder Stahl* unterscheiden sich in ihrem magnetischen Verhalten insofern, als ersteres durch Verteilung leicht magnetisch wird und ebenso leicht seine magnetische Kraft wieder verliert, letzteres hingegen schwer magnetisch wird, aber lange Zeit magnetisch bleibt.

Die magnetische Verteilung ist nicht als eine Mitteilung von Magnetismus aufzufassen. Während bei der Erwärmung eines Körpers durch einen anderen der wärmere Körper einen Teil seiner Wärme an den kälteren Körper abgiebt und dadurch kälter wird, verliert ein Magnet genauen Untersuchungen zufolge von seiner magn. Kraft nichts, indem er Eisen oder Stahl magnetisch macht. Zur Erklärung dieser Erscheinung nimmt man an, Eisen und Stahl enthalte von Natur beide Magnetismen, und zwar so, dafs sie sich in ihren Wirkungen gegenseitig aufheben. Der Einflufs eines Magnets besteht hiernach darin, beide Magnetismen nach aufsen hin wirksam zu machen.*)

Übungsstoff. 1. Wie läfst sich untersuchen, ob ein Stahlstäbchen (etwa eine Stricknadel) magn. ist, a. mit Hilfe von Eisenfeilspänen, b. mit einer Magnetnadel, c. ohne Zuhilfenahme von Eisen oder Stahl? — 2. Welches Verfahren (a oder b) ist das empfindlichere, u. w.? — 3. Zu welchem falschen Schlusse kann das erstere Verfahren leicht führen, wenn nur sehr wenige oder gar keine Feilspäne am Stabe hängen bleiben? — 4. Wie kann man in solchen Fällen prüfen, ob man falsch geschlossen hat? — 5. Warum läfst sich aus der blofsen Anziehung einer Magnetnadel nicht schliefsen, dafs ein K. magn. ist? — 6. Zu sehr empfindlichen Versuchen werden Gegenstände, welche äufserst leicht drehbar sein müssen, an einem ungedrehten Seidenfaden (Coconfaden) aufgehängt; w.? — 7. Wie lassen sich die Pole eines Magnets bestimmen? — 8. Die Lage der Indifferenzstelle eines Magnetstabes soll mit Hilfe einer Magnetnadel in der Weise bestimmt werden, dafs man den Stab in senkrechter Richtung vom äufsersten Ende an langsam etwa vor dem Nordpole der Nadel auf- oder abbewegt. Welche Erschn. werden dabei eintreten, und woran ist die Indifferenzstelle zu erkennen? — 9. Welchen Einflufs wird die Gröfse des Abstandes zwischen Nadel und Stab auf die Erschn. ausüben? — 10. Wie erklärt es sich, dafs an einem Magnete mehrere Eisenstäbchen nach Art von Kettengliedern aneinandergereiht werden können? — 11. Wodurch wird es sich bei diesem Verfahren zu erkennen geben, dafs gewöhnlicher Eisendraht härter ist als ausgeglühter Draht, aber weicher als Stahl? — 12. Warum kann nach dem Gesetz der magn. Verteilung bei Versuch b die Wirkung der beiden gleichnamigen Pole nicht doppelt so grofs sein als die eines einzelnen Poles?

§ 39. Herstellung künstlicher Magnete. Tragkraft und verschiedene Formen der Magnete. Um durch magnetische Verteilung ziemlich starke künstliche Magnete von dauernder Wirkung zu erhalten, ist das im vorigen Paragraphen (Versuch c) angeführte Verfahren nicht ausreichend. Eine weit kräftigere Wirkung erhält man, wenn man den zu magnetisierenden Stab mit einem Magnetpole wiederholt streicht. Dies geschieht am einfachsten in der Weise, dafs man den Magnetpol an einem Ende des Stabes aufsetzt und ihn dann mehrmals über den ganzen Stab hinwegzieht (Fig. 132).

Fig. 132.



Zur Magnetisierung von Magnetnadeln und anderen magnetischen Instrumenten werden die Methoden des einfachen und des Doppelstriches angewandt.

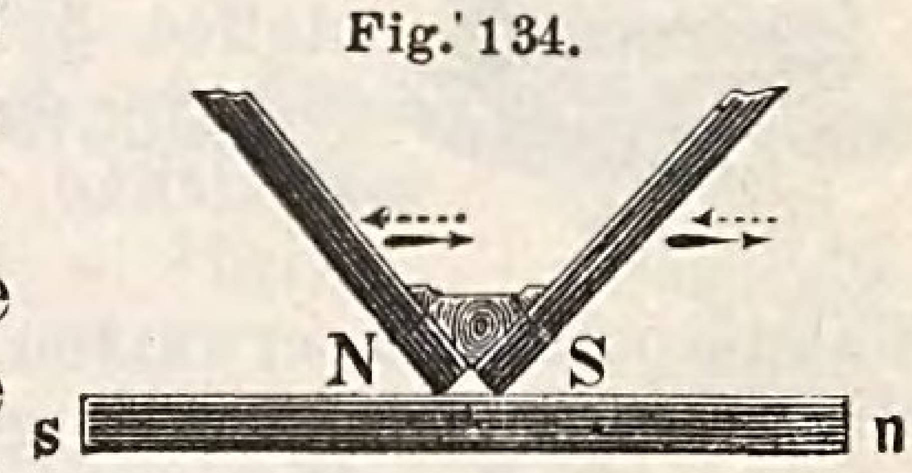
*) Vgl. II. Lehrstufe, § 133.

Beim einfachen Striche (Fig. 133) fährt man mit zwei gleichstarken, ungleichnamigen Magnetpolen von der Mitte des Stahlstabes aus nach entgegengesetzten Seiten über dessen Enden hinweg und wiederholt dies, jedesmal im Bogen durch die Luft zurückkehrend, 20—30 mal. Man kann auch umgekehrt den Stab von seiner Mitte aus wiederholt über einen Magnetpol hinwegziehen. Die dadurch entstehenden Pole sind denen, mit welchen man sie gestrichen hat, entgegengesetzt. — Beim Doppelstriche (Fig. 134) setzt man zwei ungleichnamige Pole zweier Magnete gleichzeitig in der Mitte des Stabes auf, trennt sie durch ein Stück Holz voneinander und fährt mit beiden ohne abzuheben von einem Ende zum anderen wiederholt hin und her. Das Abheben geschieht in der Mitte.

Fig. 133.



Fig. 134.

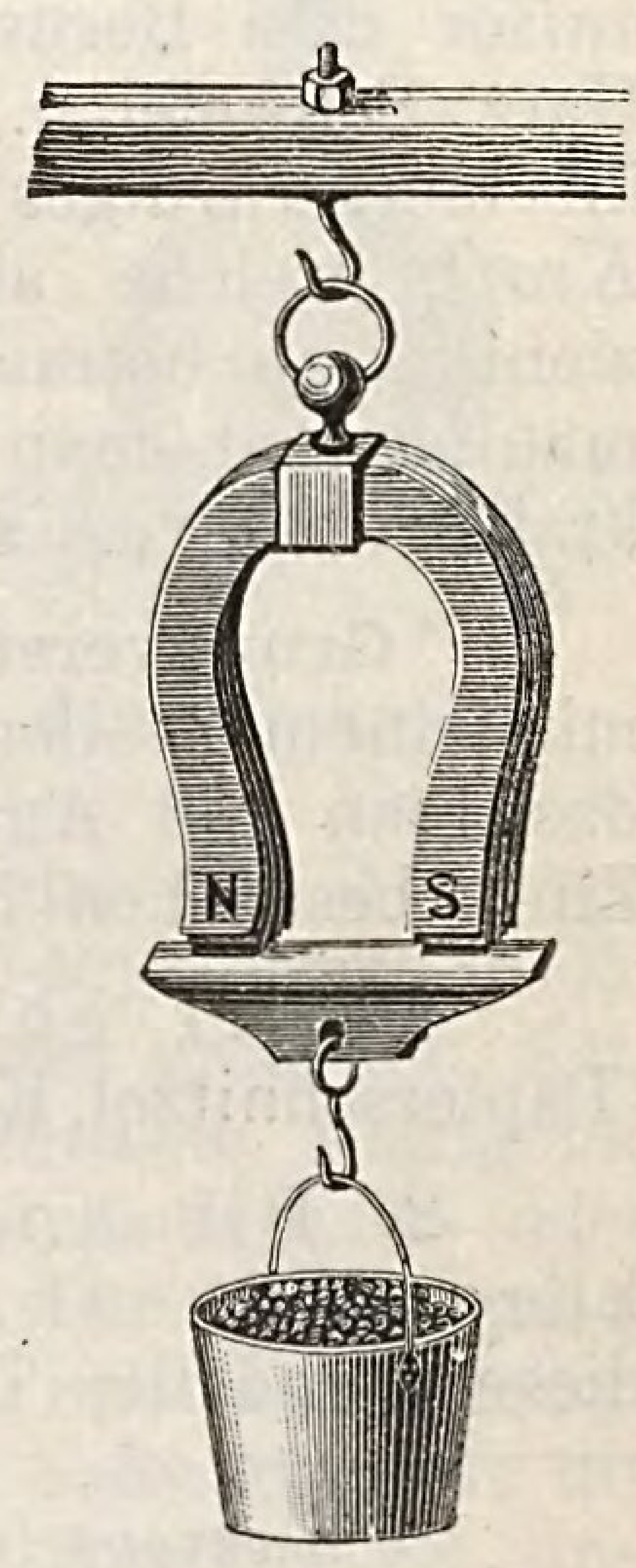


Die Erfahrung lehrt, dafs auch durch blofse Erschütterung, wenn diese sich oft wiederholt, Stahlstäbe magnetisch werden. Durch Hämmern, Feilen, Bohren u. s. w. werden stählerne Werkzeuge magnetisch. Senkrecht stehende Eisenstäbe (eiserne Träger u. dgl.) werden schon durch den Einflufs der Erde magnetisch.

Die *Stärke* des im Stahl durch Streichen erregten Magnetismus kann selbst bei Anwendung der kräftigsten Magnete nicht beliebig gesteigert werden. Ist die äufserste Grenze erreicht, so sagt man, der Stab sei mit Magnetismus gesättigt. Dadurch, dafs man einen Magnet dauernd auf einen Anker einwirken läfst und diesen durch Gewichte immer mehr belastet, wird die Tragkraft des Magnets allmählich erhöht. Plötzliches Abreifsen des Ankers, sowie überhaupt Erschütterung (Hämmern) des Magnets, hat eine Schwächung der Tragkraft zur Folge. Der Magnetismus eines Magnets verschwindet gänzlich, wenn der Magnet bis zum Glühen erhitzt wird.

Da dünne Stahlstäbe sich im Verhältnis zu ihrem Gewichte stärker magnetisieren lassen als dicke, so setzt man, um möglichst kräftige Magnete zu erhalten, mehrere dünne Magnete zu einem einzigen Magnet zusammen, indem man die gleichnamigen Pole aufeinander legt (**Magnetisches Magazin**, Fig. 135).

Fig. 135.

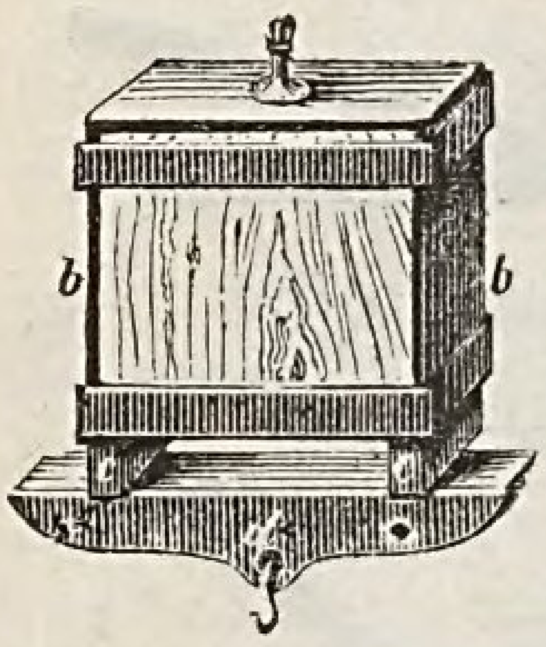


Bei einem magnetischen Magazin läfst man die Pole des mittleren Magnets zum Anlegen des Ankers etwas vorstehen und die übrigen treppenförmig zurücktreten. Die magnetische Kraft desselben kann mit der Zahl der Magnete nicht in gleichem Verhältnis wachsen, da die Pole des einzelnen Magnets in den benachbarten Polen durch Verteilung ungleichnamigen Magnetismus erregen. Als Mafs für die Stärke der magnetischen Kraft kann das kleinste Gewicht angesehen werden, bei welchem der Anker abreifst.

Natürliche Magnete werden dadurch in zweckmäfsigster Weise wirksam gemacht, dafs man zwei Stäbe von weichem Eisen an denselben befestigt, deren Enden zum Anlegen eines Ankers ein wenig vorstehen (Fig. 136, folg. Seite).

Übungsstoff. 1. Man will mittelst eines M. a. aus kleinen Eisenringen, b. aus Stahlringen eine Kette herstellen. Wie ist dies auszuführen? Erkl.! — 2. Was würde eintreten, wenn man die Glieder der Kette bis zum Glühen erhitzte? — 3. Wie kann man mit einem M. untersuchen, ob eine Stricknadel, eine Messerklinge oder dergl. aus Stahl oder weichem Eisen besteht? — 4. Wie lassen sich an einem nach Fig. 132 magnetisierten Stabe mit Hilfe von Eisenfeilspänen oder mit einer Magnetnadel (nach Anleitung der Frage 8 des Übungsstoffes, § 38) die Punkte stärkster Anziehung, sowie die Indifferenzpunkte entdecken? — 5. Wie mufs man eine Nadel mit einem M. streichen, damit die Spitze a. zum Nordpole, b. zum Südpole wird? — 6. Was ist nach Fig. 133 hinsichtlich der Bildung von Magnetpolen zu erwarten, wenn etwa eine Stricknadel von den Enden nach der Mitte hin mit einem M. gestrichen würde (umgekehrt wie in der Figur angegeben ist)? — 7. Zur Magnetisierung eines Eisenstabes will man 2 Magnete zugleich anwenden. Wie läfst sich dies ausführen? — 8. Warum mufs man bei dem durch Fig. 133 veranschaulichten Verfahren mit den Magneten im Bogen nach der Mitte zurückkehren? — 9. Durch das Anlegen eines Ankers von weichem Eisen wirkt bei einem Hufeisenmagnet der eine Pol auf den anderen ein. Erkläre dies und führe an, warum sich dasselbe nicht durch stählerne Anker ebenso gut erreichen läfst.

Fig. 136.



VII. Abschnitt.

Von der Elektricität.

(Reibungs-Elektricität.)

§ 40. Elektrische Grundversuche. Elektroskope.

Schon im Altertum beobachtete man am Bernstein, dafs er, nachdem er gerieben worden, leichte Körperchen anzieht. Diese Eigenschaft erlangen aufser dem Bernstein noch viele andere Körper, z. B. Diamant, Glas, Harz, Schwefel u. s. w.; dieselben wurden von G i l b e r t, der (um 1600) ihr merkwürdiges Verhalten entdeckte, *elektrische Körper* genannt. Die *Kraft,* welche als Ursache der von den Körpern ausgeübten Anziehung zu betrachten ist, nennt man seit jener Zeit **Elektricität.**[1]) Allmählich hat man erkannt, dafs dieselbe eine der gewaltigsten Naturkräfte und vor allem auch die Ursache der Gewittererscheinungen ist.

***Grundversuche.** Ein Stab von Hartgummi oder Siegellack wird mit einem wollenen Lappen, ein Glasstab mit Seidenzeug oder Leder, das man mit Amalgam (einer Verbindung von Quecksilber, Zinn und Zink) bestrichen hat, gerieben. Es zeigen sich folgende Erscheinungen:

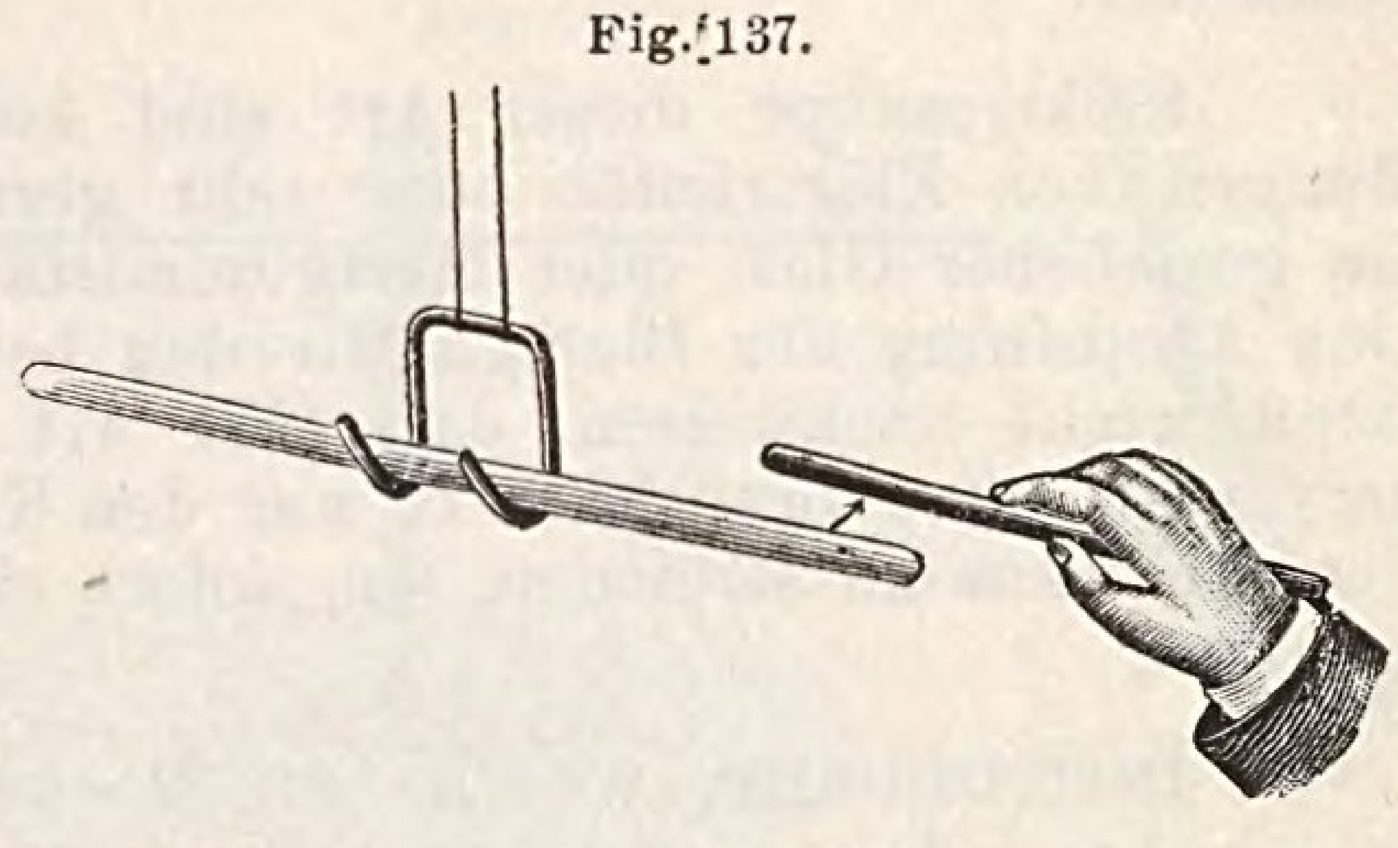
1. D e r g e r i e b e n e S t a b z i e h t l e i c h t e K ö r p e r c h e n a n (Papierschnitzel, Kügelchen von Sonnenblumenmark, Korkfeilspäne u. dgl.).

2. D i e a n g e z o g e n e n K ö r p e r w e r d e n v o m S t a b n a c h k u r z e r B e r ü h r u n g w i e d e r a b g e s t o f s e n, sodafs sie zwischen diesem und der Tischplatte hin- und herfliegen.

[1]) ἤλεκτρον (elektron), Bernstein.

3. Annäherung eines Fingers an den geriebenen Stab bringt ein Knistern hervor; man bemerkt einen eigentümlichen Geruch und sieht im Dunkeln kleine Funken überspringen.

Fig. 137.



4. Wird der geriebene Stab horizontal so aufgehängt, dafs er sich leicht drehen kann (Fig 137), und nähert man ihm sodann die Hand oder einen anderen Körper, so dreht er sich nach diesem hin. **Die Anziehung zwischen dem elektrischen und dem unelektrischen Körper ist somit eine gegenseitige.**

Die in den geriebenen Körpern hervorgerufene Kraft, welche sich durch gegenseitige Anziehung zwischen diesen und den unelektrischen Körpern, durch Knistern, Funkengeben u. s. w. äufsert, nennt man **Elektricität.**

Elektroskope.

Um E. bequem und sicher nachweisen zu können, bedient man sich gewöhnlich besonderer Instrumente, welche **Elektroskope** genannt werden. Dieselben bilden in ihrer einfachsten Einrichtung entweder ein leichtes **Fadenpendel** (Kügelchen von Sonnenblumen oder Holundermark an seidenen Fäden, Fig. 138) oder ein stabförmiges **Horizontalpendel** (ein Strohhalm oder ein Hartgummistäbchen, auf einer scharfen Spitze drehbar, Fig. 139). Bei Annäherung eines

Fig. 138.

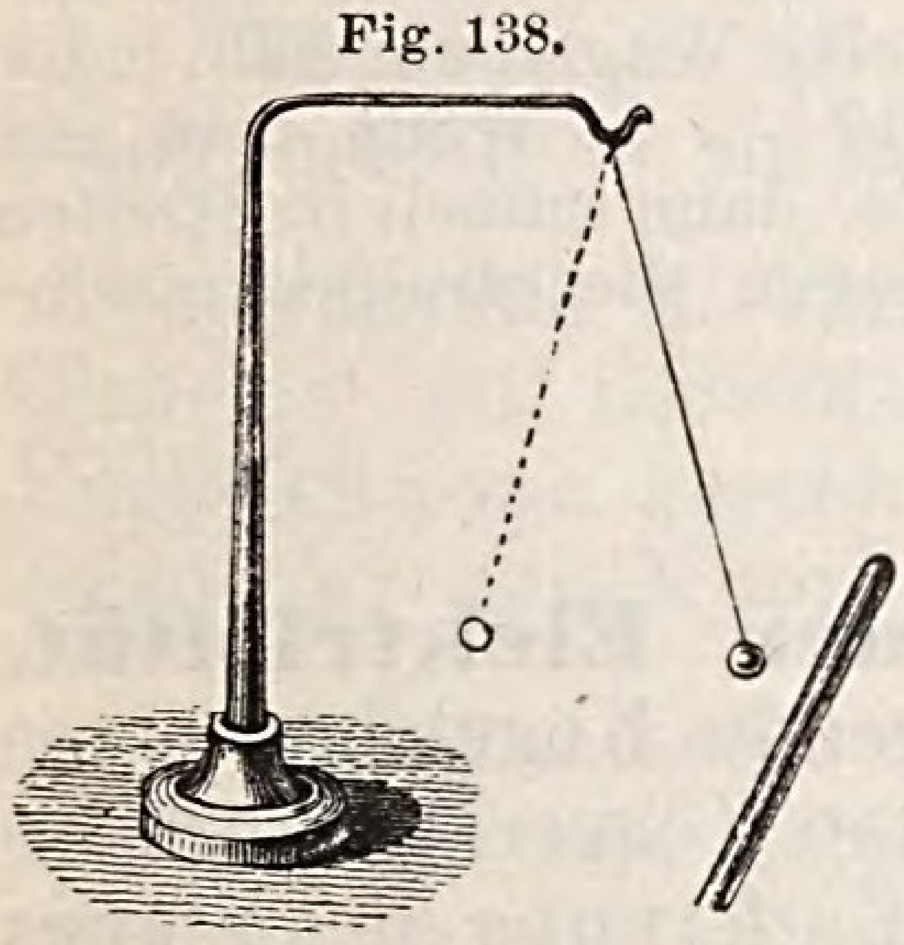


Fig. 139.

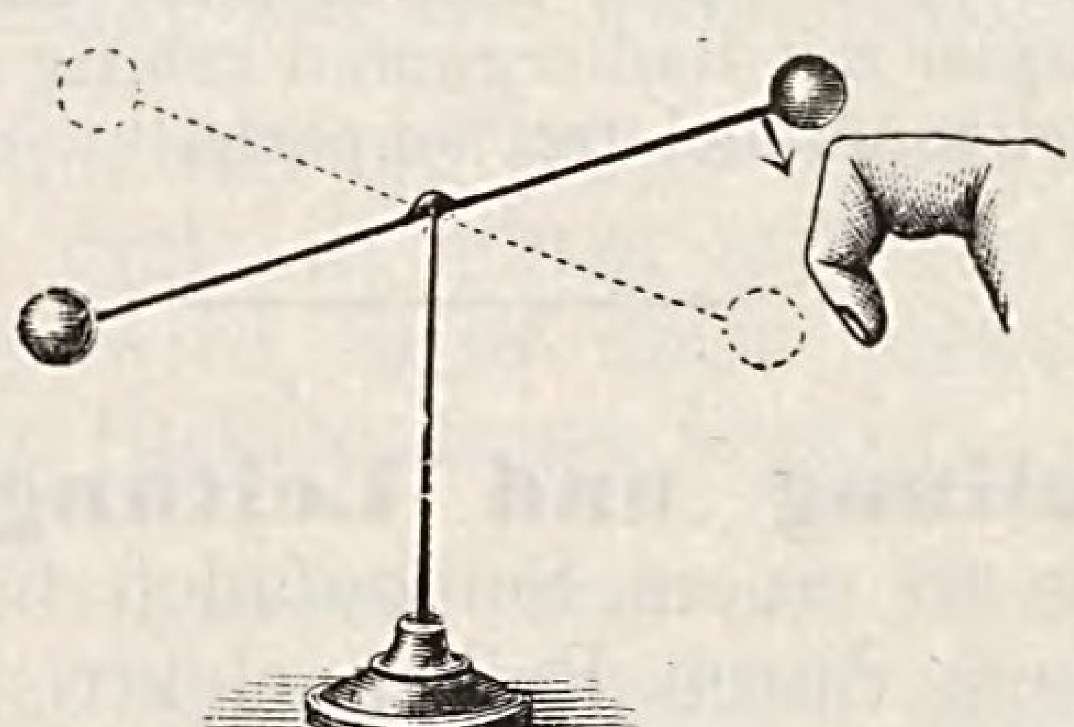
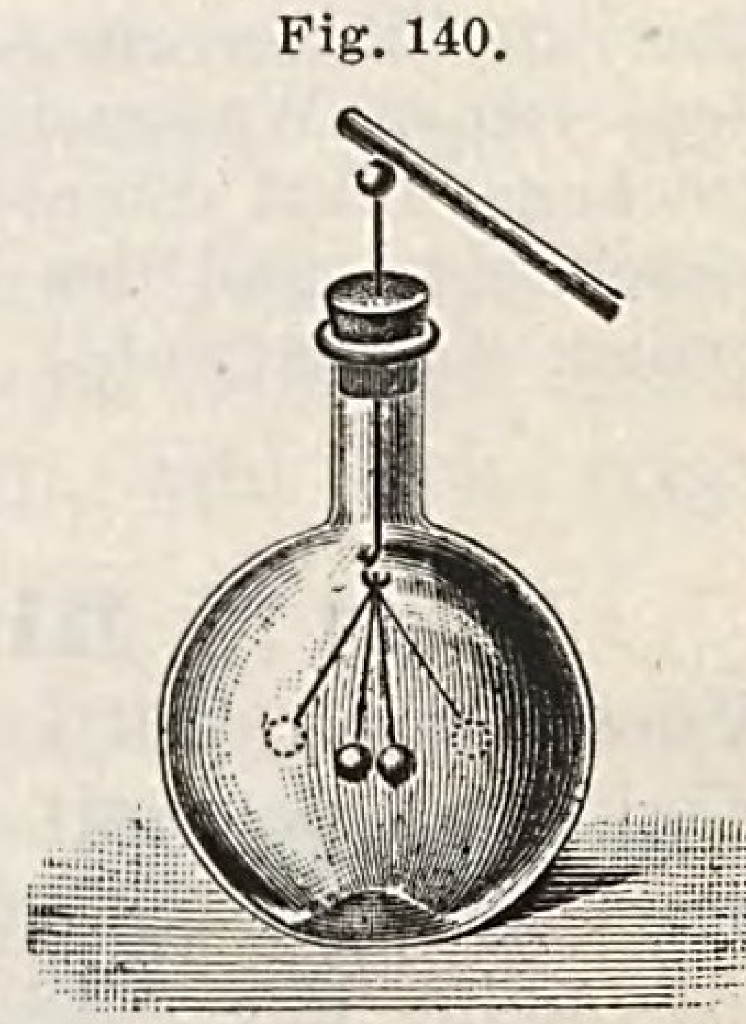


Fig. 140.



el. Körpers erfolgt eine Anziehung und nach der Berührung eine Abstofsung des Kügelchens oder, bei dem Elektroskope der zweiten Art, eine Drehung des Stäbchens. — Statt des einfachen Pendels wird auch das **el. Doppelpendel** angewandt, das aus 2 kurzen dünnen Leinenfäden mit Pflanzenmarkkügelchen (Fig. 140) oder 2 Stückchen von einem Strohhalm oder dergl., oder aber (der gröfseren Empfindlichkeit wegen) aus 2 schmalen Streifen von dünnem Blattgolde oder Aluminium besteht, welche am unteren Ende eines Kupfer- oder Messingdrahtes dicht nebeneinander aufgehängt sind. Der Draht endigt oben in einer kleinen Metallkugel und ist gewöhnlich (bei Goldblättchen stets) im Gummistöpsel eines kleinen Glasballons so befestigt, dafs die Pendel ganz im Ballon hängen und dadurch gegen Feuchtigkeit und

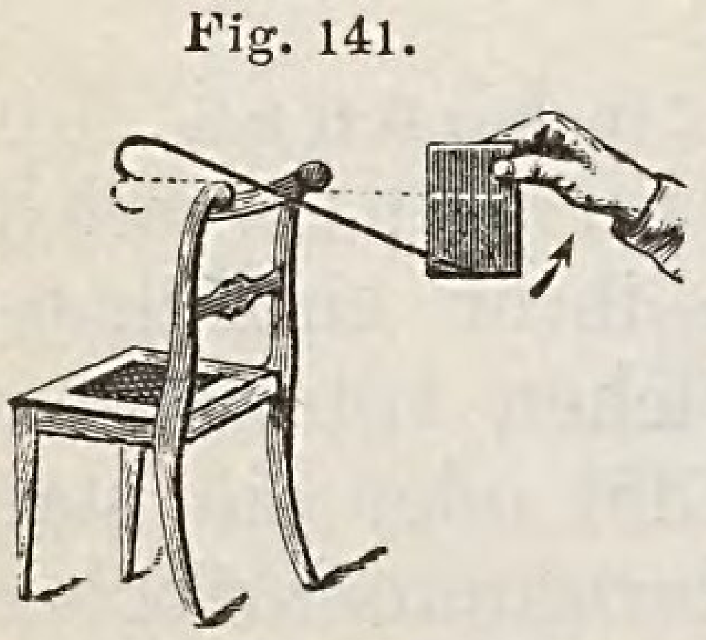
Luftzug geschützt sind. Wird der el. Körper der Kugel genähert oder mit ihr in Berührung gebracht, so schlagen die beiden Pendel auseinander.

Elektroskope dieser Art sind äufserst empfindlich und zeigen sehr kleine Mengen von Elektricität oder sehr geringe Einwirkung derselben an; z. B. kann ein geriebener Glas- oder Hartgummistab schon in einer Entfernung von etwa 1 m eine Abstofsung der Blattgoldstreifen bewirken. Auch läfst sich mit diesen Apparaten leicht nachweisen, dafs jede Art von Reibung in jedem Körper Elektricität hervorruft, man braucht z. B. nur den Knopf des Elektroskops wiederholt mit einem Fuchsschwanz zu streichen, um sofort ein Auseinandergehen der Blättchen zu veranlassen.

Instrumente, welche zu Messungen der E. dienen, heifsen **Elektrometer.** Diese sind im wesentlichen so eingerichtet, dafs sie bei Einwirkung eines el. Körpers die Gröfse des Pendelausschlages in Graden eines Kreises angeben (vergl. Fig. 157).

Übungsstoff. 1. Vergleiche die Erschn. der el. Anziehung mit den entsprechenden magn. Erschn. — 2. Ein Blatt Papier bleibt an einem warmen Ofen nicht nur hängen, wenn man es an demselben einigemal mit trockener Hand streicht, sondern es gehört auch eine merkliche Kraft dazu, das Blatt vom Ofen wieder zu trennen. Erkl.! — 3. Fig. 141 stellt eine Ersch. dar, die sich noch nachher (Frage 2) mit einem solchen Blatte hervorrufen läfst; welche? — 4. Welche Ersch. wird das Haar eines Menschen zeigen, wenn man dem Kopfe einen stark el. K. genügend nähert? — 5. Wenn man Katzen, welche längere Zeit neben einem warmen Ofen gelegen haben, über den Rücken streicht, so hört man oft ein Knistern. Wie mag sich dies erklären? — 6. Warum lassen sich mit einem el. Stabe Eisenfeilspäne von Spänen anderer Metalle nicht wie mit einem Magnet voneinander scheiden? — 7. Was wird eintreten, wenn man einen el. Stab über die Blätter eines aufgeschlagenen Buches oder unter eine Wagschale hält, oder dem feinen Wasserstrahle etwa eines Heronsballes nähert? — 8. Wenn man ein trockenes Blatt dünnes Papier mit Radiergummi kräftig reibt, dann schnell in Streifen zerschneidet und den Streifenbüschel frei emporhält, so fliegen die Streifen auseinander; warum wohl?

Fig. 141.



§ 41. Mitteilung und Leitung der Elektricität.

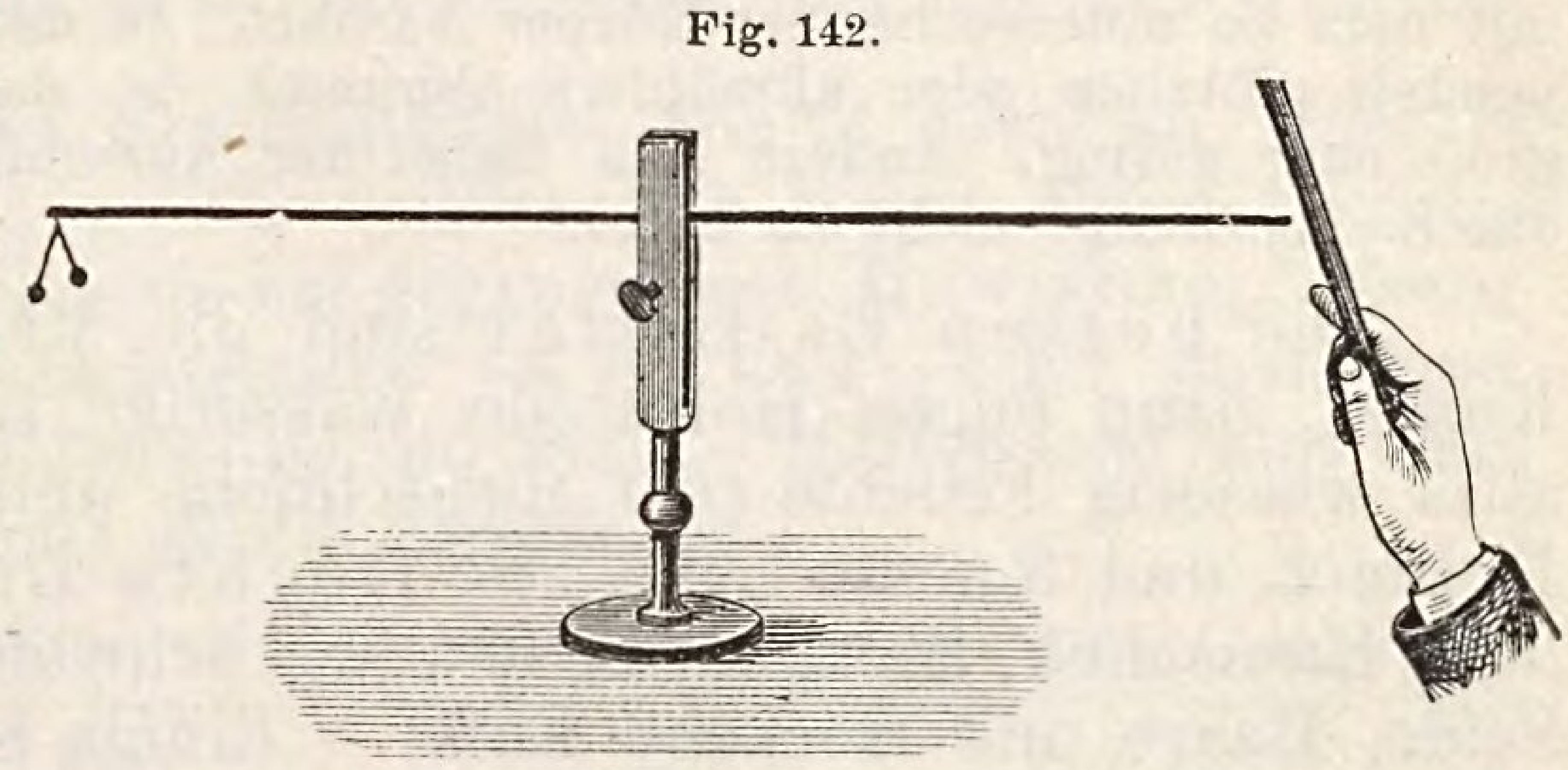
Versuch a. Wird das an einem Seidenfaden hängende Kügelchen eines Elektroskopes mit einem durch Reiben elektrisierten Körper berührt, so zeigt es sich (in trockener Luft) auch noch nach Entfernung des Stabes el. (siehe Fig. 138). Durch Berührung mit der Hand läfst sich die mitgeteilte E. wieder entfernen. — Auch wenn man von einem el. Körper auf einen anderen (Metallkugel mit einer Handhabe von Hartgummi oder Siegellack) einen Funken überspringen läfst, erweist sich der zweite Körper bei der Prüfung mit einem Elektroskop elektrisch.

Aufser durch Reiben läfst sich ein Körper auch dadurch el. machen, dafs man ihn mit einem el. Körper berührt oder beide einander soweit nähert, dafs Funken überspringen: **Elektrische Mitteilung.**

Versuch b. Teilt man einem metallischen Körper von gröfserer Ausdehnung, etwa einem an den Enden abgerundeten Kupfer- oder Mes-

singdrahte (Fig. 142) in irgend einem Punkte E. mit, so wird er überall el., wenn er an seiner Befestigungsstelle etwa mit Kautschuk, Lack oder Seide umgeben ist und nicht durch Berührung mit dem Finger oder durch Metall, Holz, Hanfschnur oder dergl. mit dem Erdboden in Verbindung steht. Sobald eine derartige Verbindung hergestellt wird, verschwindet die E. überall wieder. Dagegen verliert ein el. Glas-, Hartgummi- oder Siegellackstab seine E. durch solche Berührung nur an der berührten Stelle.

Fig. 142.



Manche Körper vermögen die E. leicht aufzunehmen, schnell fortzuleiten und, wenn sie ableitend berührt werden, wieder vollständig zu verlieren **(gute Leiter)**; andere werden durch Berührung mit einem el. Körper nur an der berührten Stelle el. und verlieren ihre E. bei ableitender Berührung auch nur an der berührten Stelle **(schlechte Leiter.)**

Aus Versuch b. folgt, *dafs ein guter Leiter, um el. Erscheinungen zeigen zu können, isoliert, d. h. mit Nichtleitern* **(Isolatoren)** *umgeben werden mufs,* damit die in ihm erregte Elektricität nicht entweichen kann. Dies bestätigen folgende Versuche:

Versuch c. Man befestigt eine Kupfermünze an einer Siegellackstange und reibt sie mit Pelzwerk. Die Münze wird elektrisch. (Nachweis!)

Versuch d. Jemand, der auf einer isolierenden Unterlage steht (Schemel mit Glasfüfsen) und mit einem seidenen Tuche oder mit einem Fuchsschwanz geschlagen wird, wird stark elektrisch, wie sich zeigt, sobald er den Knopf des Elektroskopes berührt.

Die Wichtigkeit der **Isolatoren** (Glas mit Schellacküberzug, Hartgummi u. s. w.) und ihre Bedeutung für alle elektrischen Apparate ist augenscheinlich. Ganz vollkommene Isolatoren, d. h. Körper, welche die E. überhaupt nicht leiten, giebt es indes nicht; selbst bei der besten Isolierung verliert ein el. K. seine E. im Laufe der Zeit an die ihn umgebenden Körper, z. B. an die Luft. Die Beschaffenheit der Luft ist überhaupt von gröfster Wichtigkeit für das Gelingen der el. Versuche, auf welches man mit um so gröfserer Sicherheit rechnen kann, je trockener die Luft ist; schon Gilbert bemerkte, dafs die Versuche bei vorhandener Feuchtigkeit nicht gelingen wollten. Da er den Unterschied von Leitern und Nichtleitern nicht kannte, so nahm er an, dafs sich in gewissen Körpern, z. B. in Metallen und Steinen, Elektricität überhaupt nicht erregen lasse. Gray (1729) entdeckte den Unterschied der Leiter und Nichtleiter; es gelang ihm, eine elektrische Ladung durch eine an seidenen Fäden hängende Hanfschnur über 700 Fufs weit fortzuleiten, während die Fortleitung mifsglückte, als einer der Seidenfäden zerrifs und durch einen Leinenfaden oder dünnen Draht ersetzt wurde.

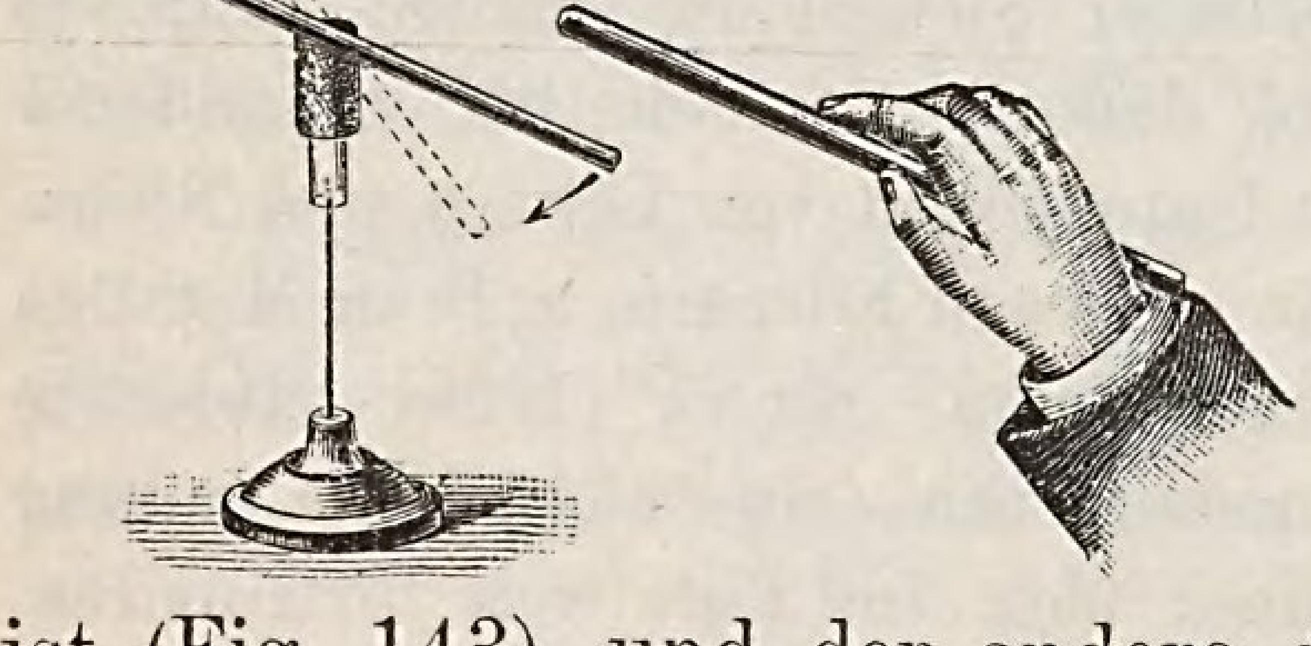
Mit Hülfe eines leitenden el. Doppelpendels (Fig. 140 und 142) lassen sich beliebige Körper auf ihr el. Leitungsvermögen dadurch prüfen, dafs man dem Pendel zunächst E. mitteilt und darauf den Draht, an welchem das Pendel aufgehängt ist, mit dem zu untersuchenden Körper berührt. Je nachdem der Ausschlag des Doppelpendels plötzlich oder allmählich abnimmt, ist das Leitungsvermögen des Körpers grofs oder gering. Ändert sich dabei der Ausschlag nicht, so vermag der Körper die E. überhaupt nicht zu leiten.

Die besten E.s-Leiter sind die Metalle, namentlich Silber und Kupfer; dann folgen Holzkohle, wässerige Lösungen von Salzen, sowie alles wässerig Feuchte (der menschliche und tierische Körper, feuchtes Erdreich und feuchte Luft). Schlechte Leiter sind Bernstein, Siegellack, Kautschuk, Hartgummi u. s. w., Schwefel, manche Glassorten, Wolle, Seide, Haare und trockene Luft. — Einige Körper, wie Steine, trockenes Holz, Pflanzenfaser (Hanf), Papier u. a. m., bezeichnet man als Halbleiter.

Übungsstoff. 1. Eine glühende Kohle erkaltet schneller auf einer Metallplatte als auf Asche. Erkläre dies und führe Beispiele über el. Erschn. an, die sich damit vergleichen lassen. — **2.** Warum umgiebt man die Handhaben metallener Gegenstände, welche zum Gebrauche erhitzt werden (Plätteisen u. s. w.), mit Holz, und warum versieht man el. Apparate von Metall mit Glasfüfsen u. dgl.? — **3.** Ein Fadenpendel mit Leinenfaden erscheint nach der Berührung mit einem el. K. stets unel., wenn es an einem Drahte hängt, welcher auf einem Holzfufse befestigt ist (Fig. 138), hingegen el., wenn der Fufs des Stativs aus Htg. oder der Faden aus Seide besteht. Erkl.! — **4.** Wie erklärt es sich, dafs ein am Leinenfaden aufgehängtes und durch den Fufs des Stativs isoliertes Kügelchen sich nach der Berührung mit dem el. Stabe schwächer el. zeigt als ein Kügelchen, das am Seidenfaden hängt? — **5.** Was für Fäden müssen zu dem el. Doppelpendel (Fig. 140 und 142) benutzt werden, u. w.? — **6.** Angenommen, man steckte auf die beiden Spitzen einer Magnetnadel ein kurzes Htg.-Stäbchen, auf welchem ein Holundermarkkügelchen befestigt sei. Liefse sich dieselbe dann statt eines el. Horizontalpendels benutzen, u. w.? — **7.** Bei Annäherung eines Fingerknöchels werde das eine Kügelchen des Horizontalpendels (Fig. 139) aus geringerer Entfernung angezogen als das andere: was ist daraus zu schliefsen? — **8.** Was ferner, wenn demselben unel. Kügelchen des Pendels nacheinander 2 el. K. langsam genähert werden und die Entfernungen in dem Augenblicke, in welchem eine Anziehung erfolgt, ungleich sind? — **9.** Metall, Glas, Papier u. s. w. läfst sich am leichtesten durch Reibung el. machen, wenn man es vorher ein wenig erwärmt hat. Grund! — **10.** In einem gefüllten Unterrichtszimmer gelingen el. Versuche zu Anfang der Stunde leichter als gegen Ende derselben. Erklärung!

§ 42. Positive und negative Elektricität. Gleichzeitige Erregung beider Elektricitäten. Die Grundversuche (§ 40) ergaben, dafs der elektrische Stab einen durch Berührung elektrisierten Körper abstöfst. Dafs jedoch eine solche Abstofsung nur unter gewissen Bedingungen eintritt, zeigen folgende Versuche:

Fig. 143.



Versuch a. Wird von zwei mit Seide geriebenen Glasstäben der eine so unterstützt, dafs er leicht drehbar ist (Fig. 143), und der andere darauf dem unterstützten Stabe genähert, so findet eine Abstofsung statt. Dieselbe Erscheinung zeigen mit

Wolle geriebene Hartgummistäbe oder Siegellackstangen. Läfst man aber den el. Glasstab auf den el. Hartgummi- oder Siegellackstab oder umgekehrt diesen auf jenen einwirken, so tritt jedesmal eine Anziehung ein.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen nimmt man an, dafs es zweierlei Elektricitäten giebt, welche man wegen ihres gegensätzlichen Verhaltens, das sie bei gegenseitiger Einwirkung äufsern, als **positive** und **negative Elektricität** (+E. und —E.) bezeichnet. Erstere ist die im Glase, letztere die im Harz, Hartgummi und ähnlichen Stoffen durch Reiben mit Wolle erregte E.

Gleichnamige Elektricitäten stofsen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

Durch die el. Abstofsung läfst sich mittelst eines einfachen el. Pendels untersuchen, ob ein el. Körper + oder —el. ist, mittelst eines el. Doppelpendels, ob ein Körper el. oder unel. ist. (In welcher Weise?)

Versuch b. Wird ein leichtes Fadenpendel oder ein el. Doppel- oder Horizontalpendel durch Annäherung eines el. Stabes aus der Gleichgewichtslage gebracht, so läfst sich der Ausschlag durch Annäherung eines zweiten, gleichnamig el. Stabes vergröfsern und durch Annäherung eines ungleichnamig el. Stabes verkleinern.

Die el. Wirkung wird durch die gleichnamige Elektricität verstärkt, durch die entgegengesetzte Elektricität dagegen geschwächt.

Die Verstärkung und Schwächung der el. Wirkung dient beim Doppelpendel-Elektroskope zur Untersuchung, ob ein Körper + oder —el. ist. Das Elektroskop wird zu diesem Zwecke vorher mit E. geladen. Wie hat man bei Annäherung des zu untersuchenden Körpers zu schliefsen?

Ähnliche Vorgänge, wie sie in den vorigen Versuchen beschrieben worden sind, wurden bald nach der Entdeckung der E.s-Leitung von Du Fay beobachtet (1733). Er nahm zu ihrer Erklärung zwei verschiedene Arten von E. an, die er als *Glas-* und *Harzelektricität* bezeichnete nach den *Stoffen,* in denen er sie erregte. Später hat man die ursprüngliche Bezeichnung Glas- und Harzelektricität mit der von Franklin vorgeschlagenen Unterscheidung in *„positive“* und *„negative“* E. vertauscht.

Da zur Erregung von E. die an einem Körper geleistete Arbeit der Reibung das Wesentliche ist, der Stoff, aus welchem der Körper besteht, aber nach obigem nur auf die Art der erregten E. einen Einflufs ausüben kann, so ist zu erwarten, dafs bei den früheren Versuchen nicht nur der geriebene, sondern auch der reibende Körper el. wurde.

Versuch c. Wird ein Glasstab mit Seidenzeug kräftig gerieben, so zeigt sich letzteres bei Berührung der Kugel eines Goldblatt-Elektroskopes —el., das Glas +el.; vertauscht man den Glasstab mit einer Hartgummistange, so wird die Seide +el., die Hartgummistange —el.

Genaue Versuche lehren:

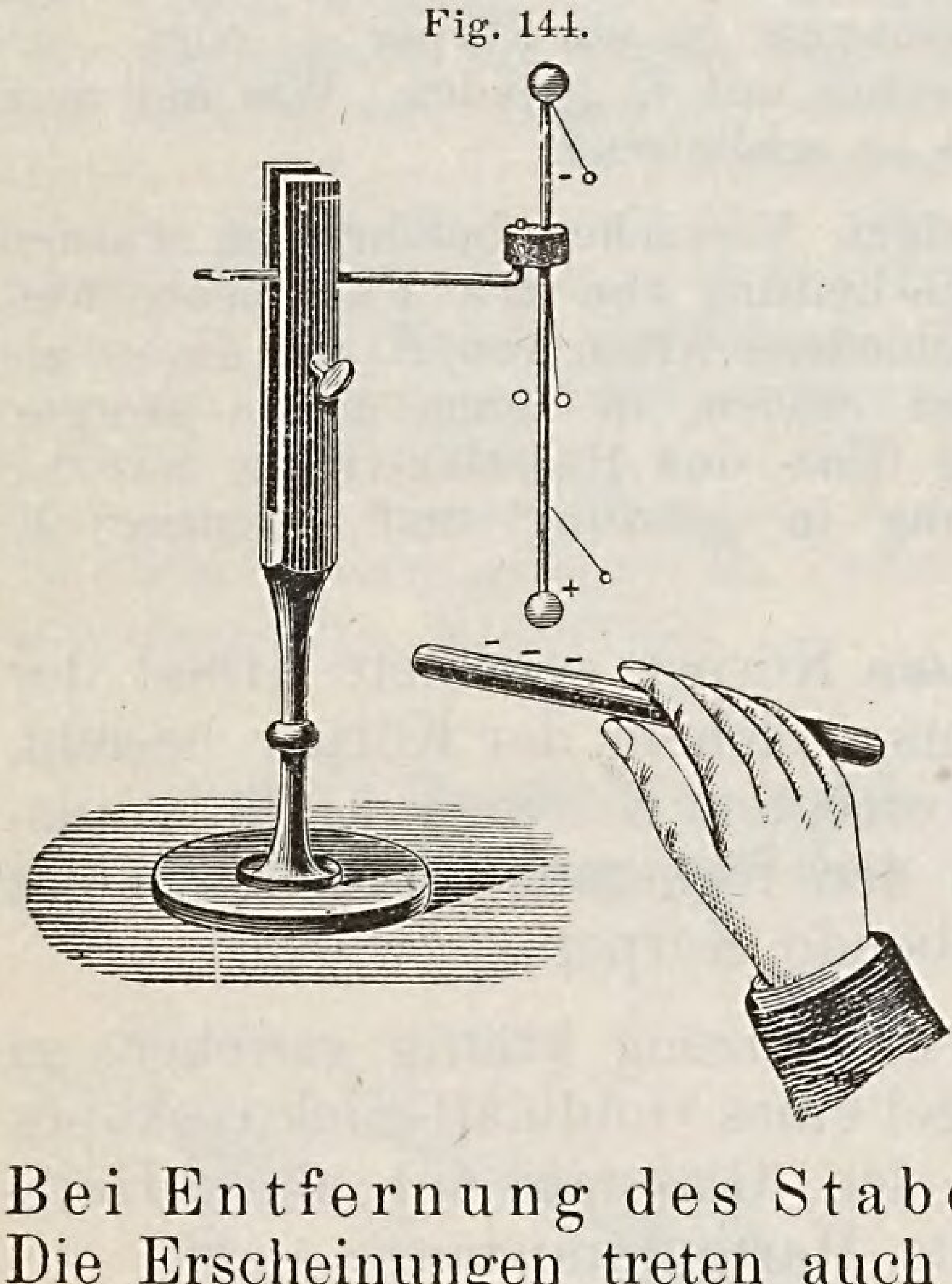
Wenn zwei ungleichartige Körper aneinander gerieben werden, so entwickeln sich stets beide Elektricitäten, und zwar entsteht auf dem einen Körper stets ebensoviel +E., als auf dem anderen —E.

Bei den bisherigen Versuchen achtete man nur auf die E. des geriebenen Körpers; die des Reibzeuges wird gewöhnlich nicht wahrgenommen, da sie von der Hand des Experimentators nach der Erde entweicht.

Übungsstoff. **1.** Ein am Leinenfaden aufgehängtes Holundermarkkügelchen wird, wenn das Stativ aus einem auf Holz befestigten Drahte besteht, bei Annäherung eines el. K. zwar angezogen, niemals aber wieder abgestofsen. Erkl! — **2.** Wie mufs die Aufhängung abgeändert werden, wenn auch eine Abstofsung erfolgen soll? — **3.** Erkläre die Abstofsung, welche bei einem Doppelpendel eintritt, wenn man die Kugel des Elektroskopes mit dem el. K. berührt. — **4.** Nähert man dem Fadenpendel oder dem Horizontalpendel (Fig. 139) eine isolierte Metallkugel, Münze oder dergl., welcher man E. mitgeteilt hat, so folgt auf die Anziehung jedesmal auch eine Abstofsung, während bei Anwendung des geriebenen Stabes (namentlich des Htg.-Stabes) die letztere Ersch. häufig nicht eintritt. Wie mag sich dies nach § 41 erklären? — **5.** Man will bewirken, dafs die beiden einander abstofsenden Kügelchen eines el. Doppelpendels a. sich wieder nähern, b. sich noch weiter voneinander entfernen. Wie läfst sich dies ermöglichen, ohne dafs man das Pendel berührt? — **6.** Wie läfst sich mit dem Horizontalpendel untersuchen, ob ein K. + oder — el. ist, a. wenn ein mit Wolle geriebener Glasstab, b. wenn ein ebenso behandelter Htg.-Stab zu Hilfe genommen wird? — **7.** Welches von den beiden Kügelchen des Horizontalpendels würde, wenn das eine — el., das andere unel. wäre, durch einen + el. Stab bei gleicher Annäherung am stärksten angezogen werden? — **8.** Gesetzt, man näherte dem Kügelchen den el. Glas- und Htg.-Stab zugleich von derselben Seite: warum würde es dann falsch sein zu schliefsen, beide Stäbe seien unel., wenn keine Anziehung erfolgte? — **9.** Vergl. die Erschn., welche die entgegengesetzten Elektricitäten bieten, mit den verwandten magn. Erschn.!

§ 43. Elektrische Verteilung (Influenz) und Ausgleichung. *Versuch a. Nähert man dem einen Ende eines gut isolierten, stabförmigen und überall abgerundeten E.s-Leiters (Fig. 144), an welchem 3 leichte Fadenpendel befestigt sind, in trockener Luft etwa einen stark el. Hartgummistab, ohne dafs Funken überspringen, so zeigen die Pendel folgende E.s-Erregung an: *das abgewandte Ende des Leiters wird gleichnamig, das zugewandte Ende ungleichnamig* el., während die Mitte unel. bleibt. (Prüfung durch Annäherung eines senkrecht gehaltenen el. Hartgummi- oder Glasstabes.) Eine sorgfältige Untersuchung läfst erkennen, dafs die Stärke der E. von den beiden Enden des Leiters bis zu der indifferenten Stelle hin allmählich abnimmt. *Bei Entfernung des Stabes verschwindet die E. wieder.* — Die Erscheinungen treten auch dann ein, wenn eine dünne isolierende Scheibe aus Glas, Hartgummi oder dergl. zwischen den Leiter und den E.s-Erreger gehalten wird. (Bei Anwendung eines + el. Glasstabes sind die Erscheinungen bis auf die Vertauschung der Elektricitäten dieselben.)

Fig. 144.



Gute E.s-Leiter werden durch die blofse Annäherung eines el. Körpers **elektrisch**, und zwar tritt auf dem abgewandten Teile desselben

die gleichnamige, auf dem zugewandten Teile die ungleichnamige Elektricität auf: **Elektrische Verteilung** oder **Influenz.**[1])

Vergleiche die elektrische mit der magnetischen Verteilung.

Durch geeignete Versuche läfst sich nachweisen, dafs auch schlechte Leiter unter der Einwirkung eines el. Körpers el. werden. Dieser Vorgang findet jedoch nur ganz allmählich statt, auch bleiben solche Körper nach Entfernung des E.s-Erregers noch el.

Wenngleich es somit den Anschein hat, als ob el. Leiter und Nichtleiter sich unter der Einwirkung eines E.s-Erregers ähnlich verhalten, wie weiches Eisen und Stahl unter der Einwirkung eines Magnetpols, so besteht doch, wie folgende Versuche zeigen, ein wesentlicher Unterschied.

Versuch b. Berührt man den Leiter (A, Fig. 145) während der Einwirkung des —el. Stabes in irgend einem Punkte mit dem Finger, so fällt das obere Pendel wieder nieder und zeigt dadurch an, dafs das abgewandte Ende des Leiters wieder unel. geworden ist. Man sagt, die abgestofsene E. sei durch den Finger abgeleitet. Der Ausschlag des unteren Pendels dagegen wird gröfser und auch das mittlere Pendel macht einen kleinen Ausschlag. — Zieht man hiernach den Finger und gleich darauf auch den Stab wieder zurück, so verbreitet sich die +E. über den ganzen Leiter, was sich durch den Ausschlag aller Pendel und die Annäherung eines senkrecht gehaltenen +Stabes zu erkennen giebt.

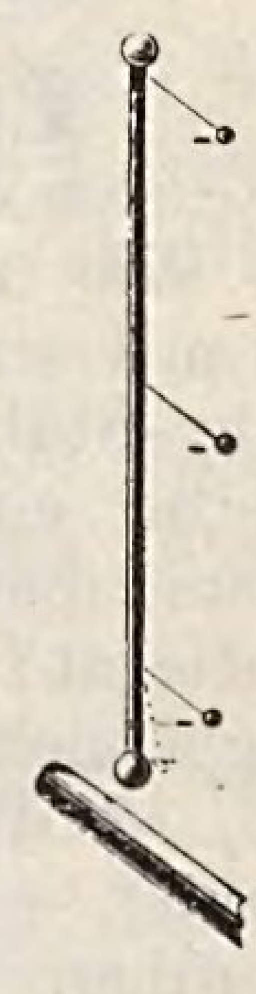
Fig. 145.



Von den beiden durch Verteilung erregten Elektricitäten ist die abgestofsene, gleichnamige E. ableitbar **(freie E.)**, die angezogene, ungleichnamige E. wird von der E. des Erregers festgehalten **(gebundene E.)**.

Bem. Die beiden Ausdrücke **frei** und **gebunden** sollen keinen wesentlichen Unterschied der beiden Elektricitäten ausdrücken, denn wenn man nach Ableitung der abgestofsenen E. den E.s-Erreger entfernt, so wird die bis dahin als gebunden bezeichnete E. ebenfalls ableitbar oder frei. Die angezogene (gebundene) E. nennt man auch Influenz-E. der ersten Art, die abgestofsene (freie) dagegen Influenz-E. der zweiten Art.

Fig. 146.



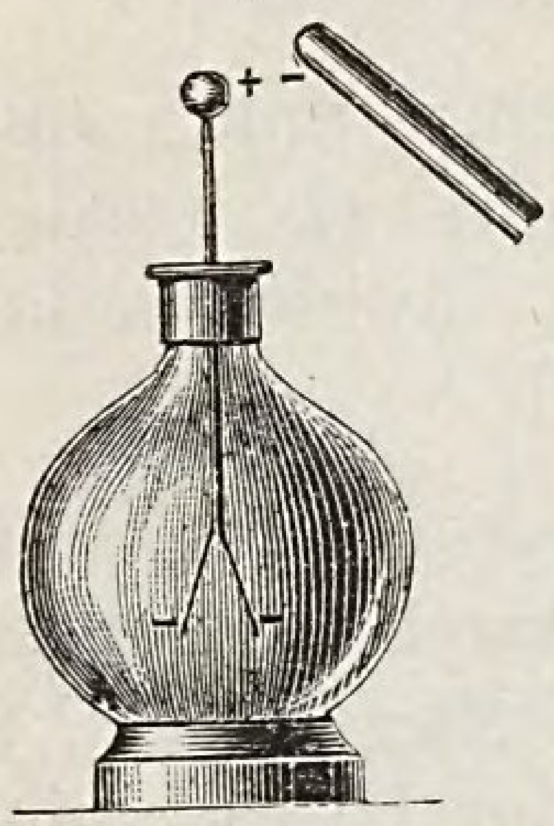
Versuch c. Wird der E.s-Erreger dem unel. Leiter bis zur Berührung genähert, so verschwindet auf letzterem die angezogene ungleichnamige E. wieder, und der ganze Leiter wird gleichnamig el. (Sogen. *el. Mitteilung.*) Das untere Pendel fällt dabei zunächst nieder, schlägt darauf aber wie die übrigen Pendel stark aus (Fig. 146). Teilt man einem ebenso eingerichteten Leiter gleichviel entgegengesetzte E. mit, so werden beide Leiter wieder unel., wenn man sie miteinander berührt.

Zwei gute E.s-Leiter, welche gleichstark, aber entgegengesetzt el. sind, werden durch gegenseitige Berührung unel.; sind sie ungleichstark

[1]) influĕre, einfliefsen, sich Eingang verschaffen.

el., so bleibt nach der Berührung von der stärkeren E. ein Rest zurück. (El. Ausgleichung.)

Fig. 147.



Durch die el. Verteilung wird es erklärlich, dafs ein Doppelpendel-Elektroskop durch einen und denselben el. Körper sowohl mit der gleichnamigen (nach Fig. 146) als mit der ungleichnamigen E. (nach Fig. 145) geladen werden kann (in welcher Weise?). Letzterer Methode giebt man beim Laden der **Goldblatt-Elektroskope** den Vorzug (Fig. 147), da die Goldblättchen sonst leicht zerreifsen oder die durch Berührung in dieselben getriebene E. leicht auf die innere Fläche der Glaswand übergeht, von wo aus eine nachteilige Rückwirkung erfolgen kann.

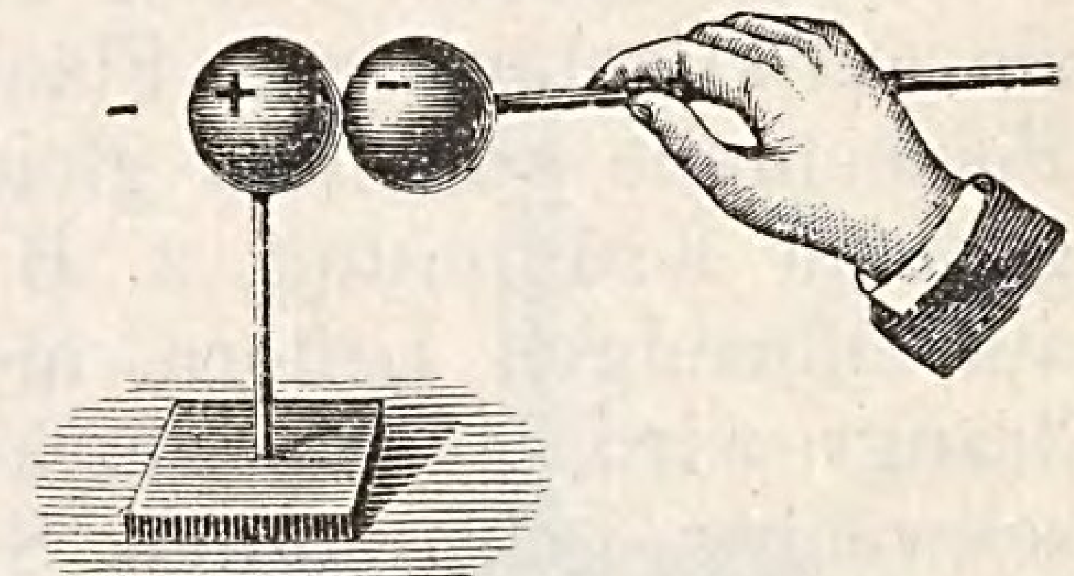
Nach dem Gesetz der el. Verteilung erscheint nicht nur die *el. Mitteilung* (siehe oben), sondern auch die *el. Anziehung und Abstofsung als eine Folge von der* **Wechselwirkung elektrischer Kräfte.** Wenn nämlich ein el. Körper und ein unel. Leiter einander genähert werden, so bewirkt jener in diesem eine el. Verteilung. Da nun die abgestofsene, gleichnamige E. vom E.s-Erreger weiter entfernt ist als die angezogene, ungleichnamige E., und die Wirkung der el. Kräfte mit der Entfernung abnimmt, so überwiegt die *Anziehung.* Findet dabei zwischen der angezogenen E. und der E. des Erregers eine Ausgleichung statt, so kann auf die Anziehung eine *Abstofsung* folgen. Somit kann man die Anziehung und Abstofsung als Wirkung der in den Körpern erregten Elektricitäten ansehen.

Da ein el. Körper genauen Versuchen zufolge von seiner E. nichts verliert, indem er in einem anderen Körper durch Verteilung E. erregt, so ist man zu der Annahme genötigt, dafs in allen Körpern von Natur beide Elektricitäten an jeder Stelle gleichmäfsig so vorhanden seien, dafs sie sich in ihren Wirkungen gegenseitig aufheben. (Vgl. § 38.) — Ein unel. Körper geht hiernach in den el. Zustand über, wenn in ihm eine Trennung seiner eigenen Elektricitäten stattfindet; er erscheint +el., wenn er einen Überschufs von +E. hat, —el., wenn er —E. im Überschufs enthält. Diese Trennung der Elektricitäten kann nicht nur durch die el. Kraft selbst bei der el. Verteilung, sondern auch durch Reibung und andere Ursachen bewirkt werden.

Übungsstoff. 1. Wie läfst es sich erreichen, dafs alle Pendel (Fig. 145) a. durch die gleichnamige, b. durch die ungleichnamige E. des Erregers ausschlagen? — 2. Was mufs eintreten, wenn man den Leiter nach dem Ausschlage aller Pendel a. mit einem isolierten, b. mit einem nicht isolierten Metallkügelchen, c. mit einem Htg.-Stäbchen berührt, u. w.? — 3. Welche Änderung tritt bei einem isolierten Leiter ein, wenn an demselben ein stark el. K. vorbeigeführt wird? — 4. Desgl., wenn man dem Leiter den el. K. bis zur Berührung nähert und ihn dann wieder entfernt? — 5. Worin findet die Ersch. des Versuches a, Fig. 137, nach obigem ihre eigentliche Erklärung? — 6. Inwiefern hängt es vom Leitungsvermögen eines K. ab, ob durch einen E.s-Erreger eine starke oder schwache el. Verteilung eintreten kann? — 7. Welchen Einflufs mufs demnach das Leitungsvermögen eines K. darauf ausüben, wie stark letzterer von einem el. K. angezogen wird? — 8. Wenn man die Kugel eines nicht geladenen Doppelpendel-Elektroskopes mit einem schwach el. metallenen K. nur in einem Punkte berührt und den K. dann wieder entfernt, so behalten die Pendel ihre Stellung; sie gehen jedoch stets auf einen kleineren Ausschlag zurück, wenn man mit einem schwach el. schlechten Leiter ebenso verfährt. Erkl.! — 9. Erkläre folgende Erschn.: a. Bringt man einer von zwei sich berührenden Messingkugeln (Fig. 148, folg. Seite), welche gegen 2 cm dick und gut iso-

liert sind, den stark —el. Htg.-Stab möglichst nahe, ohne dafs Funken überspringen, und entfernt dann zunächst die vom Stabe abgewandte Kugel und gleich darauf auch den Stab, so ist diese Kugel —el., jene +el.; **b.** nähert man den Stab bis zur Berührung, so sind beide Kugeln —el.: **c.** verfährt man wie bei a, ohne die zweite Kugel zu entfernen, so sind nach Entfernung des Stabes beide Kugeln unel.

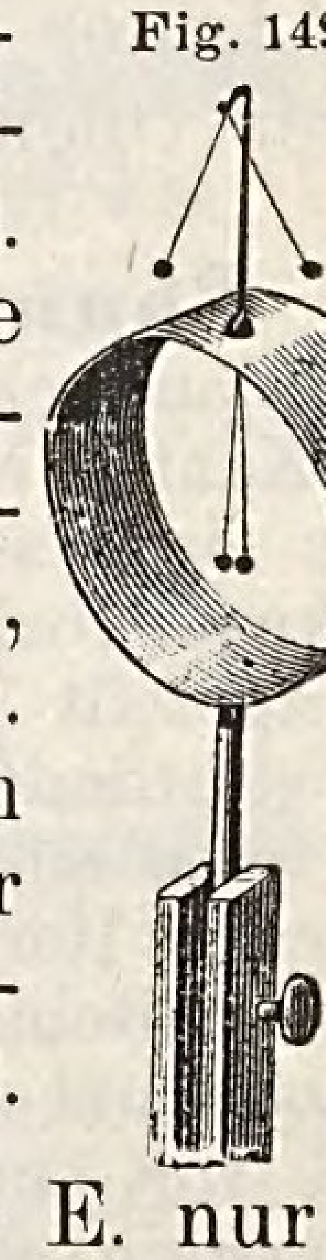
Fig. 148.



§ 44. Anordnung der Elektricität auf einem Leiter. El. Spannung. Wie sich der Grad des Wärmezustandes am sichersten nach der ausdehnenden Wirkung der Wärme beurteilen läfst (Steigen und Fallen des Quecksilbers im Thermometer), so läfst sich der Grad des el. Zustandes am besten nach der Stärke der Abstofsung gleichnamiger Elektricitäten beurteilen (Ausschlag des Pendels eines Elektroskopes). Dafs der Grad des el. Zustandes eines Körpers ähnlich wie der Wärmegrad sehr verschieden sein kann, haben die früheren Versuche bereits gezeigt, desgl. dafs Nichtleiter der E. in verschiedenen Punkten ihrer Oberfläche ungleichstark el. sein können. Wie sich in letzterer Beziehung gut leitende Körper verhalten, bedarf noch einer besonderen Untersuchung.

*****Versuch.** Wird ein kleiner, isoliert aufgestellter Reifen aus glattem Kupfer-, Messing- oder Zinkblech (Fig. 149), in und auf welchem ein leichtes leitendes Doppelpendel als Elektroskop aufgehängt ist, etwa durch wiederholte Berührung mit dem el. Stabe möglichst stark el. gemacht, so schlägt nur das äufsere Pendel mehr und mehr aus. Bei genauer Untersuchung mittelst Probekügelchen und Elektroskop erscheint die Aufsenseite des Reifens namentlich an den Kanten el., während die Innenseite sich als unel. oder äufserst schwach el. erweist. (Überläfst man den elektrischen Reifen einige Zeit sich selbst, so wird er um so schneller wieder unel., je feuchter die Luft ist.) — Elektrisierte metallische Hohlkugeln sind ebenfalls nur an der Aufsenseite und zwar überall gleichstark el.

Fig. 149.



Auch bei massiven el. Körpern befindet sich die E. nur an der Oberfläche. Wird z. B. eine massive Metallkugel elektrisiert, und dann mit zwei genau auf dieselbe passenden metallenen, hohlen Halbkugeln umschlossen, so geht die ganze E. der massiven Kugel auf die Halbkugeln über Entfernt man letztere gleichzeitig wieder, so sind diese el., die massive Kugel dagegen ist unel. — Aus derartigen Versuchen schliefst man:

Wird ein guter Leiter mit E. geladen, so verbreitet diese sich nur auf der Oberfläche, nicht aber im Innern des Leiters. Die E. zeigt daher das Bestreben, sich vom el. Körper zu entfernen. Dieses Bestreben ist um so gröfser, je mehr E. sich an einem Punkte angesammelt hat.

Obige Erscheinungen erklären sich aus der Abstofsung gleichnamiger Elektricitäten und dem äuferst geringen Widerstande,

welchen gute E.s-Leiter der Bewegung der E. entgegensetzen. Die einem Leiter in irgend einem Punkte mitgeteilte E. breitet sich hiernach stets über den ganzen Leiter aus und drängt nach aufsen. Hierbei erlangt sie auf kugelförmigen Flächen eine gleichförmige Dichtigkeit, d. h. gleiche Flächenteile enthalten gleichviel E., während die E. auf Flächen mit ungleicher Krümmung, z. B. auf Cylindern mit abgerundeten Enden oder auf eiförmigen Leitern, mehr nach den stärker gekrümmten Teilen gedrängt wird, sodafs sie hier eine gröfsere Dichte erlangt als an den schwächer gekrümmten Stellen. Das Bestreben der E., sich vom el. Körper zu entfernen, mufs daher bei einem isolierten guten Leiter mit der Stärke der Krümmung seiner Oberfläche zunehmen.

Der Druck, welchen die E., indem sie sich von einem el. Körper zu entfernen strebt, auf die nicht leitende Umgebung (z. B. die Luft) ausübt, wird **el. Spannung** *genannt.*

Durch die Spannung der E. läfst sich somit der el. Zustand eines Körpers messen, wie der Wärmezustand durch die Temperatur. Dieselbe E.s-Menge erzeugt auf einem kugeligen Leiter überall die gleiche Spannung (aber eine um so gröfsere, je kleiner die Oberfläche ist), auf ebenen Flächen die kleinste, an Ecken und Spitzen die gröfste Spannung. Von letzteren geht daher die E. auch am leichtesten auf andere Körper über (Spitzenwirkung). Dies ist der Grund, warum man Leiter der E. zur Verhütung von E.s-Verlusten abrundet und mit glatter Oberfläche versieht.

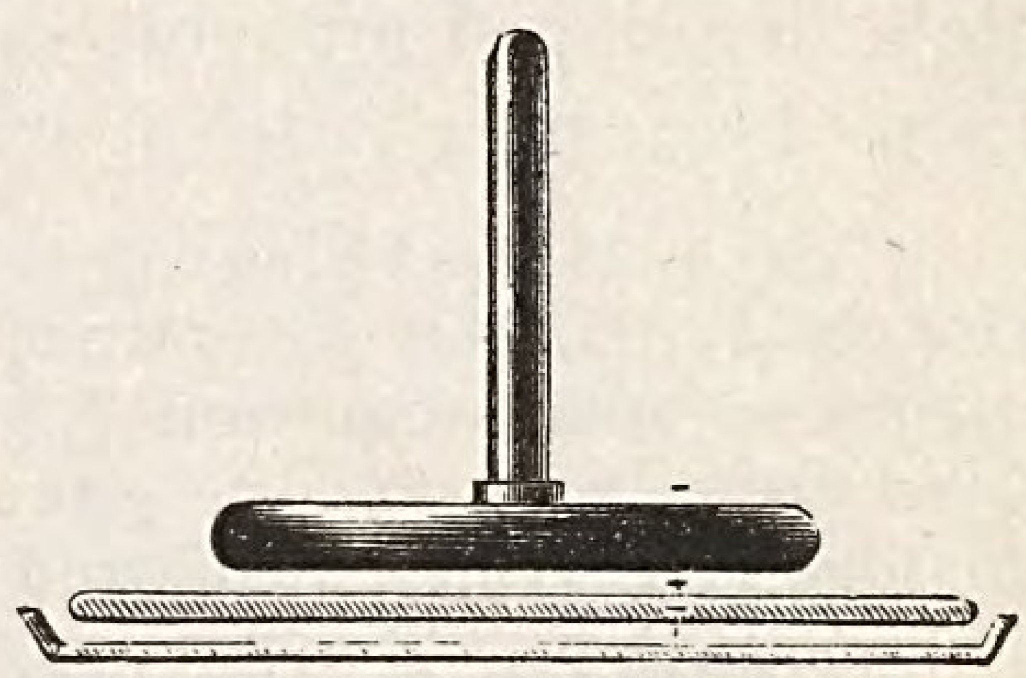
Übungsstoff. 1. Was für einen Einflufs haben Ecken und Kanten an magn. und el. Apparaten auf die Brauchbarkeit? — 2. Wenn die Spitzen, Ecken oder Kanten eines el. Leiters nicht scharf sind, so ist bei schwacher Elektrisierung kaum ein E.s-Verlust merklich. Erkl.! — 3. Einem offenen Cylinder und einem Hohlkegel (beide aus Metall und isoliert) soll durch Berührung mit einem el. Leiter E. mitgeteilt werden. a. Ist es hierbei gleichgültig, in welchen Punkten die Berührung stattfindet, u. w.? b. Wie lassen sich die K. am besten auf ihre E. prüfen, wenn man einmal ein nicht geladenes Goldblatt-Elektroskop, ein andermal ein el. gemachtes Horizontalpendel anwendet? — 4. Zwei gleichgrofse isolierte Metallkugeln werden miteinander in Berührung gebracht, nachdem ihnen einmal gleiche Mengen, ein andermal ungleiche Mengen E. mitgeteilt worden ist (vgl. Fig. 148). Spannung der E. vor und nach der Berührung, wenn die Kugeln a. gleichnamig el., b. ungleichnamig el. gemacht sind? — 5. Zwei Metallkugeln von verschiedener Gröfse soll E. mitgeteilt und die el. Spannung bei beiden gleich werden. Mengen der erforderlichen E.? — 6. Bei einem sehr empfindlichen, geladenen Goldblatt-Elektroskope nähern sich die Goldblättchen ein wenig, wenn man der Kugel einen unel. guten Leiter sehr nahe bringt, und kehren bei Entfernung des Leiters wieder in ihre anfängliche Stellung zurück. Grund! — 7. Warum dürfen Metallkugeln zur Ansammlung von E. hohl sein oder aus einem nicht leitenden, mit Zinnblatt (Stanniol) überklebten Stoffe bestehen? Einflufs von Staub auf der Oberfläche derselben!

Elektrische Verstärkungs- und Ansammlungs-Apparate.

§ 45. Der Elektrophor. El. Funke. El. Rückschlag. Um in einfachster Weise gröfsere Mengen von E. zu erhalten, läfst sich statt eines Stabes eine aus *Hartgummi oder Harzmasse bestehende Scheibe* anwenden, welche auf einem *Metallteller* liegt und nach ihrer

Elektrisierung mit einem überall abgerundeten *Deckel* aus Metall oder mit Stanniol überklebtem Holz bedeckt wird. (Fig. 150). Der Deckel ist zum Gebrauch des Apparates mit einer isolierenden Handhabe versehen. Ein solcher Apparat wird **Elektrophor,** d. h. Elektricitätsträger, genannt.

Fig. 150.

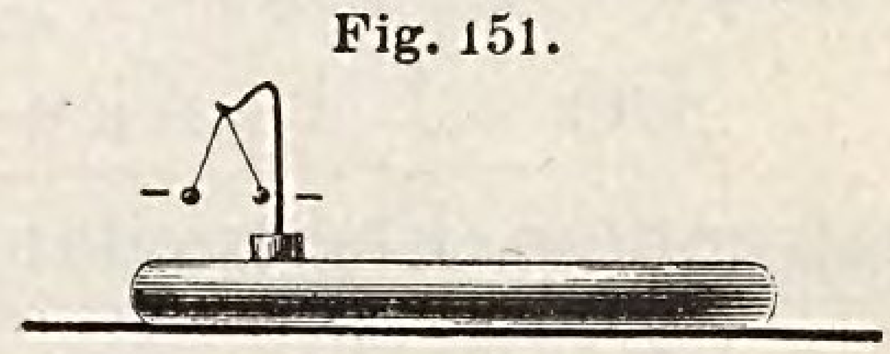


Versuche über die Wirkung des Elektrophors.

Versuch a. Legt man auf die mit einem Fuchsschwanze oder mit Katzenfell kräftig geschlagene Scheibe des Elektrophors den Deckel, indem man ihn ableitend berührt, und hebt ihn darauf wieder ab, so erhält man einen ziemlich kräftigen Funken, wenn man dem Rande des Deckels den Fingerknöchel oder eine mit dem Boden leitend verbundene Metallkugel (Funkenzieher) genügend nähert. Bei Wiederholung des Versuches entsteht immer von neuem ein Funke, ohne dafs die Scheibe noch einmal gerieben zu werden braucht Zur Erklärung dienen folgende Versuche:

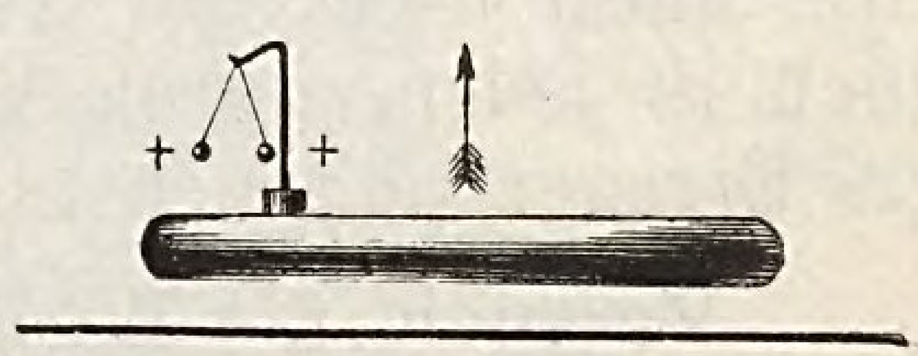
Versuch b. Man stelle auf den Deckel ein leichtes leitendes Doppelpendel (Fig. 151). Legt man ihn dann auf die geriebene Scheibe, ohne ihn ableitend zu berühren, so zeigt der Ausschlag des Pendels eine E.s-Erregung an. Der Ausschlag erfolgt durch −E. (Nachweis!) Beim Abheben des Deckels fallen die Kügelchen des Pendels wieder zusammen.

Fig. 151.



Versuch c. Berührt man den Deckel, während er der Scheibe aufliegt, mit dem Finger, so fällt das Pendel plötzlich nieder; es schlägt aber, wenn man den Deckel hierauf, ohne ihn noch zu berühren, abhebt, wieder aus (Fig. 152) und zwar durch +E. (Nachweis!) Der Ausschlag nimmt mit der Entfernung zu.

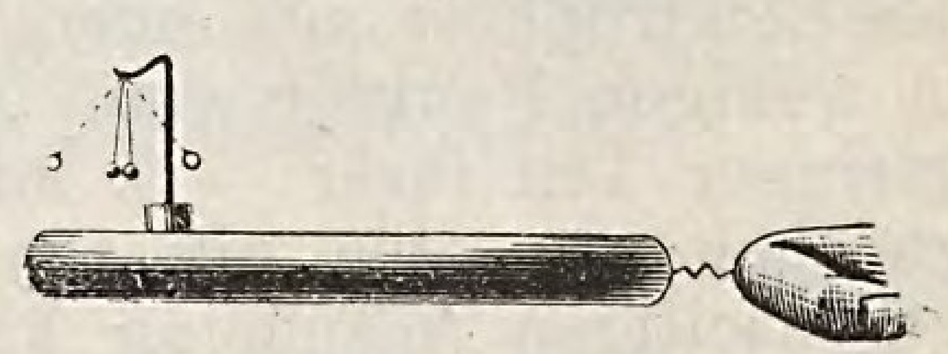
Fig. 152.



Wie ist nach Versuch b und c die Elektrisierung des Elektrophor-Deckels zu erklären? Dichtigkeit und Spannung der E. des Deckels: Nach Ableitung der —E. des Deckels konnte das Pendel keine el. Spannung mehr anzeigen, da die zurückgebliebene +E., wenngleich sie in genügender Dichtigkeit vorhanden war, durch die —E der Scheibe gebunden wurde. Erst als diese Einwirkung der —E. durch das Abheben des Deckels mehr und mehr aufhörte, vermochte die Spannung der +E. allmählich zuzunehmen.

Versuch d. Nähert man wie bei Versuch a dem mit +E. geladenen Deckel etwa den Fingerknöchel, sodafs ein Funke überspringt, so zeigt das Niederfallen des Pendels eine plötzliche Abnahme der el. Spannung an (Fig. 153). Bei genauerer Untersuchung erweist sich der Deckel nur noch sehr schwach el.

Fig. 153.



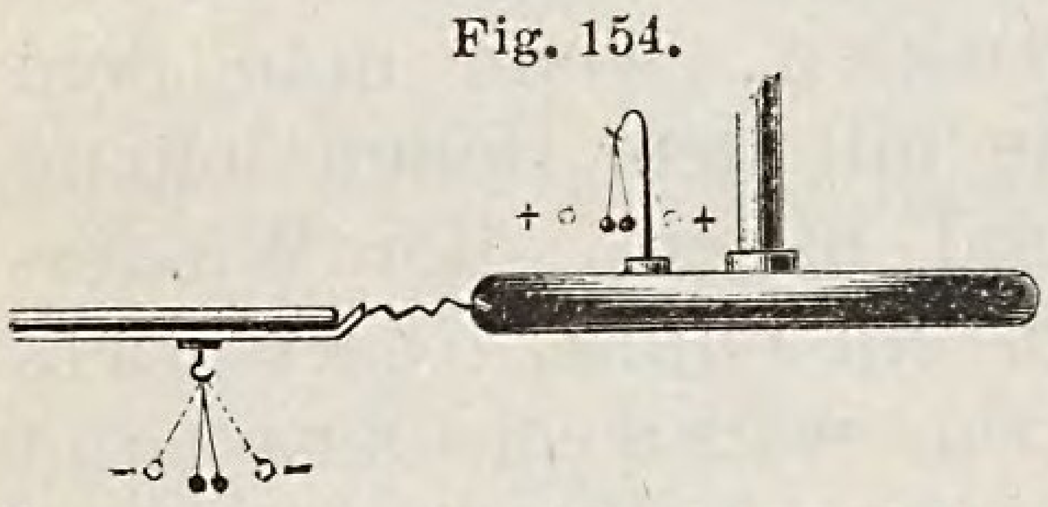
Diese Erscheinung erklärt sich nach § 43 dadurch, dafs die +E. des Deckels im genäherten Knöchel —E. anzieht und +E. abstöfst, wie bei der Elektrisierung des Deckels in diesem durch die —E. der Scheibe

die ungleichnamige E. angezogen und die gleichnamige E. abgestofsen wurde. Indem der Finger sich dem Deckel mehr nähert, findet eine immer stärkere el. Verteilung statt, welche damit endigt, dafs die nicht leitende Luft von den einander anziehenden Elektricitäten gewaltsam durchbrochen wird, wobei diese sich vereinigen.

Die Entstehung des el. Funkens durch Vereinigung zweier durch die Luft getrennten Elektricitäten giebt sich am deutlichsten zu erkennen, wenn man von 2 guten E.s-Leitern den einen mit +, den anderen mit —E. stark ladet und sie dann einander nähert. Dies läfst sich mit dem Elektrophor in folgender Weise ausführen:

*Versuch e. Der geladene Elektrophor werde so auf eine isolierende Unterlage gelegt, dafs ein Teil des Tellers zur Aufhängung eines leichten leitenden Doppelpendels freiliegt (Fig. 154). Hierauf leite man zunächst im Deckel und Teller die abgestofsene —E. ab, indem man beide mit dem Finger berührt. Hebt man dann den Deckel von der Scheibe ab, so wird im Teller durch stärkere Bindung von +E. von neuem soviel —E. frei, dafs man einen kräftigen Funken erhält, wenn man den Deckel mit seinem Rande dem Rande des Tellers genügend nähert. Ein auf dem Deckel und unter dem Teller angebrachtes Doppelpendel zeigt eine plötzliche Abnahme der el. Spannungen an.

Fig. 154.



Der el. Funke entsteht dadurch, dafs die beiden durch die Luft getrennten Elektricitäten sich plötzlich miteinander vereinigen.

Die gewaltsame Vereinigung entgegengesetzter Elektricitäten zwischen zwei el. Körpern heifst **Entladungsschlag,** *die gröfste Entfernung, in welcher sie erfolgt,* **Schlagweite.**

Eine plötzliche Vereinigung getrennter Elektricitäten kann nicht nur zwischen zwei el. Körpern eintreten, sondern mufs auch in jedem durch Verteilung elektrisierten Leiter erfolgen, wenn der E.s-Erreger plötzlich zu wirken aufhört.

Versuch f. Wird einem Goldblatt-Elektroskope der elektrisierte Deckel des Elektrophors genähert, so erhält man einen immer gröfser werdenden Ausschlag, welcher nicht nur durch schnelle Entfernung, sondern auch bei Funkenentladung des Deckels plötzlich wieder verschwindet. (Erklärung!)

Die plötzliche Wiedervereinigung durch Verteilung getrennter, entgegengesetzter Elektricitäten eines Leiters wird **el. Rückschlag** *genannt.*

Der Elektrophor oder Elektricitätsträger verdankt seinen Namen der Eigenschaft, die E., wenn der Deckel aufgesetzt und der Teller nicht isoliert ist, in trockener Luft tage-, selbst wochenlang zu bewahren. Da die Scheibe des Elektrophors aus einem nicht leitenden Stoffe besteht und genau genommen nur in wenigen Punkten vom Deckel berührt wird, so kann sich nämlich nur ein sehr geringer Teil ihrer —E. mit der von letzterer angezogenen +E. des Deckels ausgleichen; dasselbe gilt von der aus dem Teller angezogenen —E. Infolge dieser gegenseitigen Anziehung kann die E. der Scheibe nicht entweichen. — Der Elektrophor wurde 1775 von dem Italiener Volta erfunden.

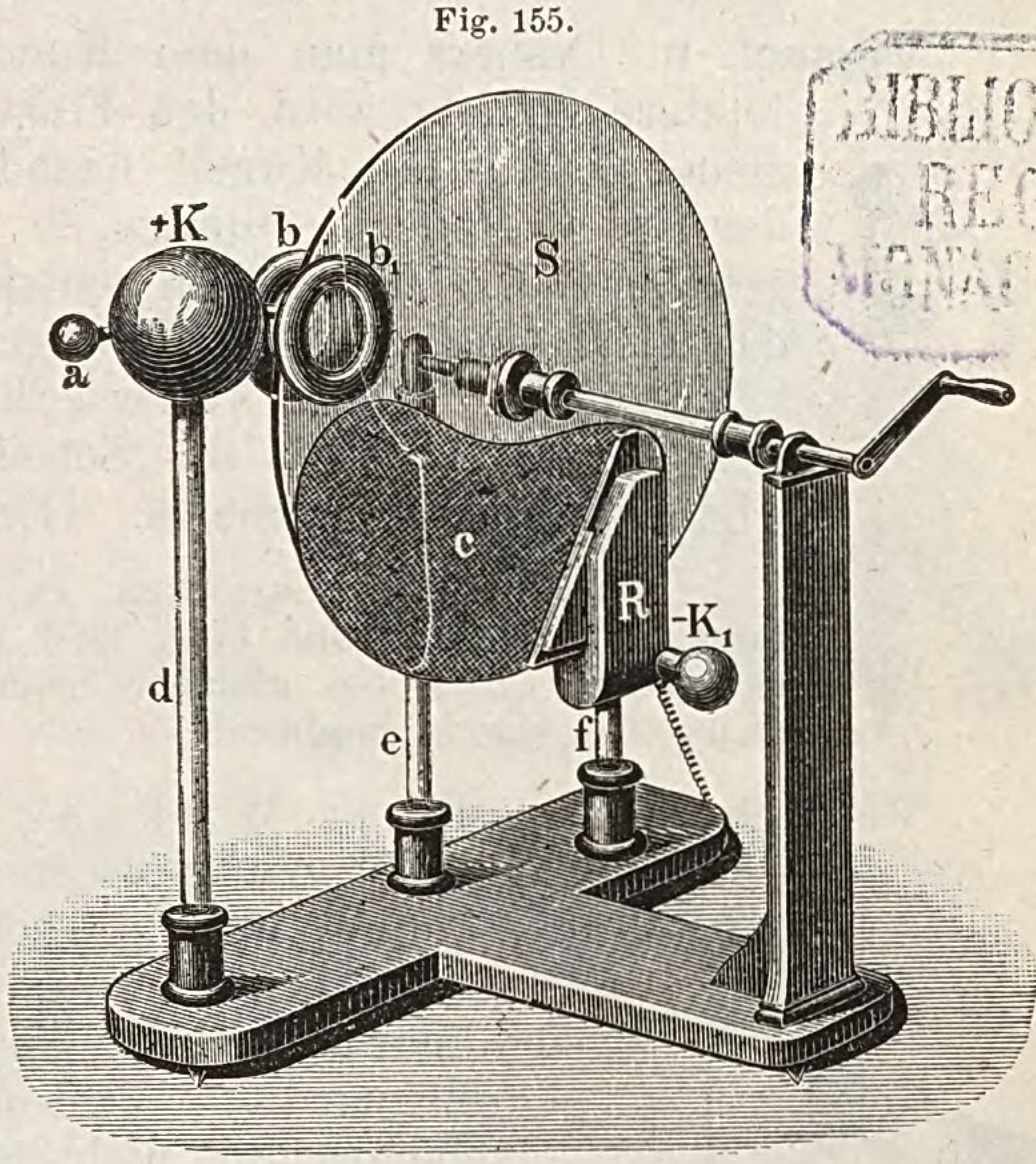
Übungsstoff. 1. Welcher wesentliche Unterschied besteht zwischen den Teilen des Elektrophors in Bezug auf ihr Leitungsvermögen? — 2. Die Funken, welche die Scheibe selbst liefert, sind im Vergleich zu denjenigen des Deckels nur

sehr schwach. Erkl.! — 3. Warum nimmt im Deckel die Spannung der —E. zu, indem man den Deckel der Scheibe nähert (Fig. 151), die der +E. aber, indem man ihn weiter von der Scheibe entfernt (Fig. 152)? — 4. Warum mufs der Deckel des Elektrophors überall abgerundet sein? — 5. Warum braucht der Teller nicht ebenso eingerichtet zu sein? — 6. Dünne, etwa nur einige mm starke Deckel sind weniger brauchbar als Deckel, welche wenigstens fingerdick sind; warum wohl? — 7. Warum läfst sich zum Auflegen und Abheben des Deckels statt seidener Schnüre nicht gewöhnlicher Bindfaden benutzen? — 8. Wenn man den Deckel mit Korkstückchen, Holundermarkkügelchen oder dergl. bestreut und ihn dann auf die geriebene Scheibe legt, so fliegen dieselben fort. Erkl.! — 9. Wird der Deckel beim Auflegen ableitend berührt, so tritt die Ersch. erst ein, wenn man ihn abhebt; w.? — 10. Wo bleibt die im Teller erregte freie —E., a. wenn der Teller auf einer leitenden Unterlage liegt, b. wenn die Unterlage nicht leitet? — 11. Wird die geriebene Scheibe des Elektrophors, ohne dafs der Deckel daraufliegt, mit mehreren Fingerspitzen zugleich berührt, so hört man ein nur schwaches Knistern, wenn der Teller entfernt ist. Wie wirken demnach die Elektricitäten dieser beiden Teile, solange letztere sich berühren, aufeinander ein? — 12. Die nicht mit dem Deckel bedeckte Scheibe wird an der Luft nicht so schnell unel., wenn der Teller darunter liegt, als wenn er fehlt; der Elektrophor bleibt am längsten el., wenn die Scheibe zwischen Teller und Deckel liegt. Grund! — 13. Warum nähert man dem Deckel des Elektrophors beim Funkenziehen den Fingerknöchel und nicht die flache Hand, desgl. bei Versuch e (Fig. 154) dem Rande des Tellers den Rand des Deckels? — 14. Warum kann man das öfterer wiederholte Entziehen von Funken aus dem Elektrophor nicht mit dem Wasserschöpfen aus einem Brunnen vergleichen?

§ 46. Die Elektrisiermaschine. Spitzenwirkung. Doppelinfluenz.

1. Reibungs-Elektrisiermaschine. Das bequemste Verfahren, grofse Mengen von E. durch Reibung hervorzurufen, besteht darin, dafs man eine Glasscheibe zwischen zwei Reibkissen mittelst einer Kurbel dreht (Fig. 155). Ein solcher Apparat wird **Reibungs - Elektrisiermaschine** genannt. Die Hauptteile derselben sind: 1) die *drehbare Scheibe* (S), 2) das *festliegende Reibzeug* (R) und 3) der *Konduktor* oder *Ansammler* (K und K_1). Der Isolierung wegen bestehen die Achse der Scheibe sowie die Stützen für Konduktor und Reibzeug aus Glas oder Hartgummi.

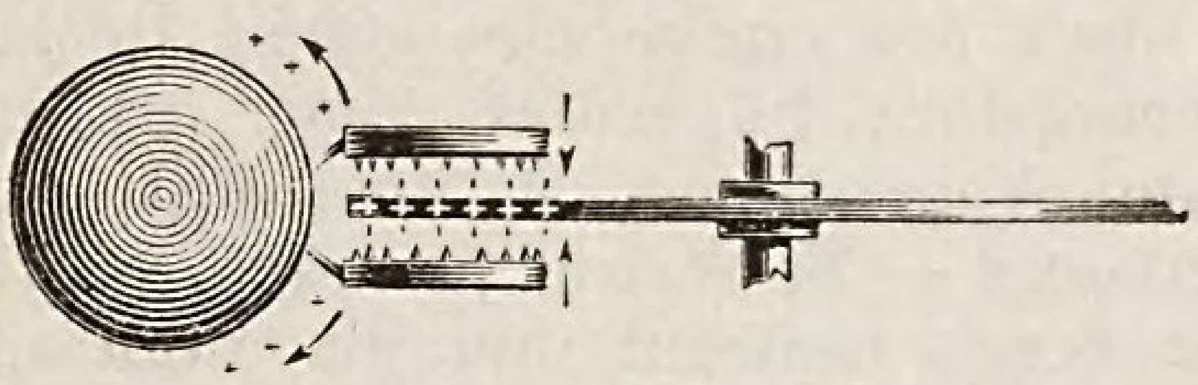
Fig. 155.



Das Reibzeug ist aus zwei Lederkissen zusammengesetzt, welche mit Amalgam, d. h. mit einer Mischung aus Qu. und Zink oder aus Qu., Zinn und Zink überstrichen sind. (Diese Mischung wirkt kräftiger als ein wollener oder seidener Lappen.) *Beim Drehen der Scheibe wird diese +el., das Reibzeug —el.* Gewöhnlich wird die +E. benutzt, während man die —E., damit sie nicht durch Bindung der ungleich-

namigen E. nachteilig wirkt, mittelst einer Kette zur Erde leitet. Die +E. der Scheibe läfst man verteilend auf Metallspitzen einwirken (Fig. 156), welche in zwei Ringen befestigt und mit dem Konduktor (K) leitend verbunden sind. Dieser besteht meist aus einer Hohlkugel von Messing. Damit die Scheibe bei ihrer Drehung auf dem Wege vom Reibkissen bis zu diesen Spitzen keine E. verliert, ist sie an dieser Stelle beiderseits durch einen ihr anliegenden Lappen von Wachstaffet (c) geschützt. *Die aus den Spitzen gezogene —E. vereinigt sich mit der +E. der Scheibe, sodafs im Konduktor freie +E. zurückbleibt.* Häufig sind auch die Reibkissen durch Stanniolstreifen mit einem besonderen Konduktor (K_1) leitend verbunden. Will man die in demselben sich ansammelnde —E. benutzen, so verbindet man den Scheibenkonduktor leitend mit der Erde.

Fig. 156.



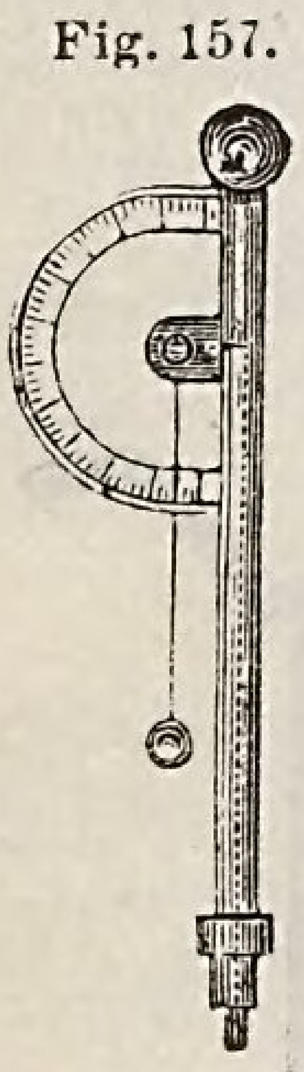
Versuche über die Wirkung der Elektrisiermaschine.

Versuch a. Nachweis des el. Zustandes von Reibzeug, Scheibe und Konduktor mittelst des Elektroskopes. — Ein Goldblatt-Elektroskop giebt schon in ziemlich grofser Entfernung vom Konduktor einen Ausschlag.

Der Raum um einen el. Körper, innerhalb dessen der Körper el. Erscheinungen hervorruft, wird **el. Atmosphäre** *genannt.*

Versuch b. Nähert man dem Konduktor der Scheibe, während letztere gedreht wird, den Fingerknöchel oder einen Funkenzieher (Draht mit Kugel), nachdem man 1) das Reibzeug mit der Erde leitend verbunden, 2) diese Verbindung wieder aufgehoben hat, so entstehen (entsprechend der Stärke der durch das Elektrometer, Fig. 157, angezeigten Spannung) im 1. Falle starke, im 2. nur schwache Funken. Werden Reibzeug und Konduktor der Scheibe leitend verbunden, so erscheint nur die Scheibe el. (Erklärung!)

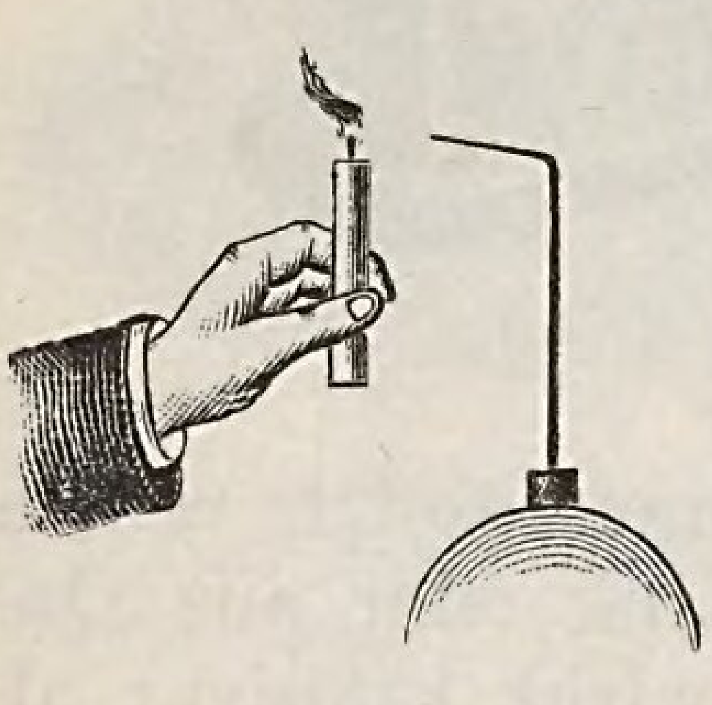
Fig. 157.



Mit Hilfe von Glasröhren, in denen die Luft verdünnt werden kann (siehe Fig. 12 und 171), läfst sich nachweisen, dafs die *Länge der el. Funken* bei gleicher Spannung der E. mit der Verdünnung der Luft zunimmt.

Versuch c. Um die el. Wirkung von Metallspitzen (vgl. Fig. 156) nachzuweisen, halte man dem Ende eines auf dem Konduktor befestigten zugespitzten Drahtes (Fig. 158) eine Flamme gegenüber. Letztere neigt sich stark von der Spitze weg, sobald die Scheibe gedreht wird. — Wird dem Konduktor ein mit Spitzen versehener und nicht isolierter Leiter ziemlich nahe so gegenübergestellt, dafs die Spitzen dem Konduktor zugewandt sind, so zeigt sich letzterer nur sehr schwach el. Dies führt zu dem Schlusse:

Fig. 158.



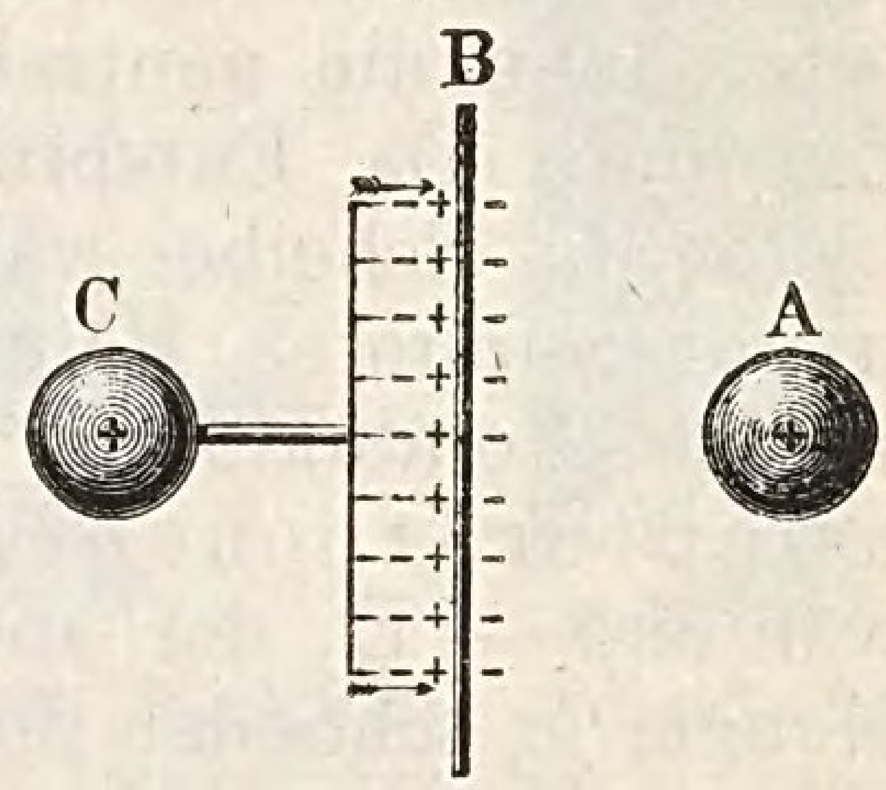
Aus **Spitzen** strömt die E. leicht aus. Steht ein el. Körper leitenden Spitzen gegenüber, so strömt aus diesen von den beiden durch Ver-

teilung erregten Elektricitäten die angezogene, ungleichnamige aus und vereinigt sich mit der E. des Erregers.

Flammen und Rauch bewirken in der Nähe eines elektrisierten Leiters ebenfalls eine allmähliche Entladung.

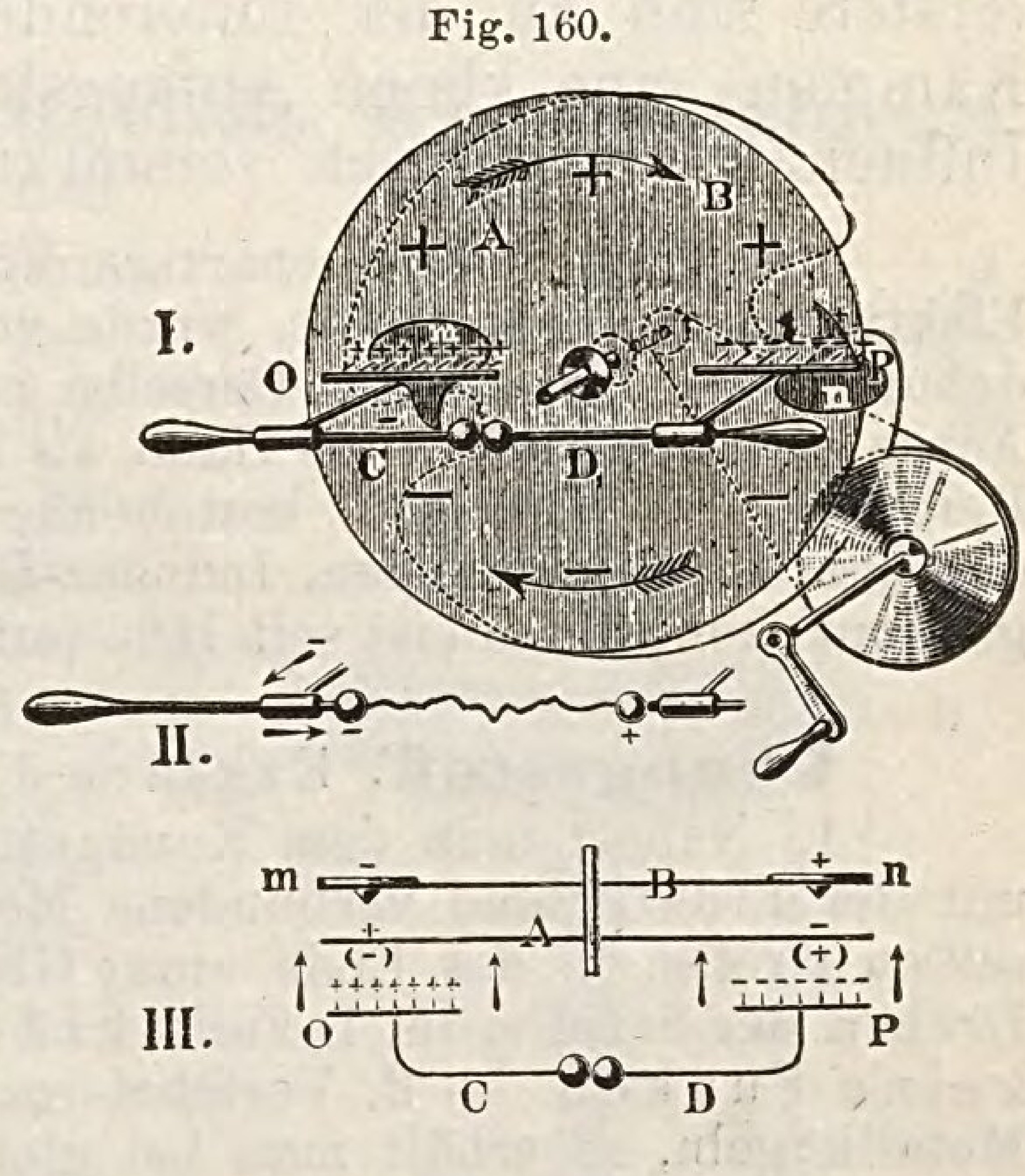
2. **Influenz-Elektrisiermaschine.** Sie unterscheidet sich von der Reibungs-Elektrisiermaschine dadurch, dafs die E. nicht durch Reibung, sondern durch Verteilung (sogen. Doppelinfluenz) erregt wird. Stellt man nämlich einem etwa +el. Körper (A) einen mit Spitzen versehenen Leiter (C, Fig. 159) gegenüber, so strömt bei genügender Stärke der E. aus den Spitzen des Leiters auch dann noch —E. aus, wenn zwischen den Spitzen und dem el. Körper eine dünne, schlecht leitende Scheibe (B) eingeschaltet wird. In der Scheibe findet dabei auch eine el. Verteilung statt. Stehen nun die Metallspitzen von der Scheibe nur sehr wenig ab, so ist (dem Leitungsvermögen dieser beiden Körper entsprechend) die E.s-Erregung im Leiter bedeutend stärker als in der Scheibe. Die E. des Leiters strömt dann aus den Spitzen auf die Scheibe über. Hierbei vereinigt sich die abgestofsene +E. der Scheibe mit ebensoviel —E., sodafs auch diese Seite der Scheibe —el. wird. Würde nun der Leiter mit der Erde leitend verbunden und die Scheibe gedreht, so würde diese auf einer immer gröfseren Fläche —el. werden.

Fig. 159.



Die *Influenz-Elektrisiermaschine* besteht aus 2 dünnen Glasscheiben (A und B, Fig. 160), welche einander parallel und sehr nahe gegenüberstehen, und von denen die eine vor der anderen sehr schnell gedreht werden kann. Die feststehende Scheibe (B) ist an 2 Stellen tief ausgeschnitten. Neben diese Ausschnitte sind auf die Scheibe 2 Stückchen Papier geklebt, die mit ihrer Spitze in die Ausschnitte hineinragen. Den Papierbelegen gegenüber stehen auf der anderen Seite vor der drehbaren Scheibe die Kammspitzen (O und P) zweier messingenen Konduktoren, deren vordere stabförmige Teile (C und D) in eine Kugel endigen und gegeneinander verschoben werden können.

Fig. 160.



Zum Gebrauche der Maschine schiebt man die Kugeln zunächst aneinander und teilt dann, während die Scheibe gedreht wird, einem der beiden Papierbelege mit einem geriebenen Glas- oder Htg.-Stabe E. mit. Ist das Papier (n) etwa +el. gemacht, so sammelt sich (durch Doppelinfluenz) auf beiden Seiten der Scheibe den zugehörigen Spitzen gegenüber —E. an. Die in den beiden Konduktoren abgestofsene +E. wird aus den anderen Spitzen gegen die Scheibe getrieben. Da sie zu-

gleich auf den Papierbeleg (m) verteilend einwirkt, so wird die Scheibe hier beiderseits +el. Diese Vorgänge wiederholen sich bei der Drehung der Scheibe an allen Stellen derselben, welche an den beiden sogen. Saugkämmen vorbeigehen, und setzen sich auch dann noch fort, wenn dem Papierbelege keine E. mehr mitgeteilt wird. Nach einer halben Umdrehung ist die Scheibe beiderseits in einem ringförmigen Streifen von der Breite der Saugkämme el. und zwar ist der untere Halbring —el., der obere +el. Bei weiterer Drehung tritt jeder Halbring mit seinem vorderen Ende vor die Spitzen des betreffenden Saugkammes und verstärkt hier das Ausströmen der ungleichnamigen E. Letztere gleicht sich zum Teil mit der E. des Halbringes aus und versetzt dann die neutralisierte Stelle desselben in den entgegengesetzt el. Zustand. Da Entsprechendes bei beiden Saugkämmen stattfindet, so bleibt die Scheibe während der Drehung in ihrer oberen Hälfte +el., in ihrer unteren Hälfte —el. Entfernt man schliefslich die Kugeln der beiden Konduktoren voneinander, so entsteht zwischen denselben ein ununterbrochener Funkenstrom, da dann der einen Kugel fortwährend —E, der anderen +E. zufliefst und zwar in um so gröfserer Menge, je schneller die Scheibe A gedreht wird.

Die Influenz-Maschine übertrifft in ihrer Wirkung ganz bedeutend die Reibungs-Elektrisiermaschine und kann mit einer kleinen Anfangsladung durch fortdauernd stattfindende Influenz sehr beträchtliche E.s-Mengen erzeugen. Die Wirkung wird durch verschiedene, hier nicht beschriebene Nebenvorrichtungen noch verstärkt. Bemerkenswert sind die neuerdings sehr verbreiteten Influenz-Maschinen mit Selbstladung, bei denen durch Reibung von Metallknöpfen an Metallbürsten (erstere sind an der rotierenden Scheibe angebracht, letztere an den Kämmen) eine kleine Anfangsladung vermittelt wird, welche sich durch Influenzwirkung rasch verstärkt.

Die erste maschinenartige Vorrichtung, welche zur Entwickelung gröfserer Elektricitätsmengen diente, wurde von Otto v. Guericke, Bürgermeister zu Magdeburg, 1560 hergestellt. Derselbe befestigte eine Schwefelkugel auf einer drehbaren Achse und gebrauchte die Hand als Reibzeug. Die erste vollkommnere, aus Scheibe, Reibzeug und Konduktor bestehende Elektrisiermaschine wurde erst ungefähr hundert Jahre später erfunden. Influenz-Elektrisiermaschinen (auch Elektrophor-Maschinen genannt) kennt man erst seit 1865 (erfunden von Holtz und gleichzeitig von Töpler).

Übungsstoff. Erkläre die Erscheinungen folgender Versuche:

1. Nähert man dem Konduktor der Elektrisiermaschine nacheinander a. eine mit der Erde leitend verbundene Metallkugel, b. eine isolierte Metallkugel von derselben Gröfse, c. das Ende eines Glas-, Sg.- oder Htg.-Stabes, so erhält man beim Drehen der Scheibe im 1. Falle kräftige, im 2. schwache und im 3. fast gar keine Funken. — 2. Verfährt man ebenso mit 2 ungleichdicken, nicht isolierten Metallkugeln, so erhält man bei gleichen Abständen durch die kleinere Kugel zahlreiche kleine Funken, durch die gröfsere Kugel eine geringere Anzahl gröfserer Funken. Die Stärke der Funken nimmt mit der Schlagweite zu. Ein auf dem Konduktor befestigtes Pendel fällt bei jedem Funken um so mehr zurück, je stärker der Funke ist. (Bei der Erkl. ist die Stärke der Krümmung der Kugel und die Menge der E. zu berücksichtigen.) — 3. Auf den Konduktor gelegte leichte Kügelchen fliegen fort, sobald man die Scheibe dreht. — 4. Ein aus dünnem Blech bestehendes Kreuz (Fig. 161), dessen (gegen 5 cm lange) Arme in seitlich umgebogene Spitzen auslaufen, dreht sich auf dem Konduktor wie ein Reaktionsrad (sogen. el.

Fig. 161.



Flugrad). — 5. Hält man nahe vor den Konduktor ein nicht isoliertes Stück Blech, auf dem ein kleines Fadenpendel (mit Seidenfaden) hängt, so bewegt sich letzteres wiederholt mit grofser Geschw. gegen den el. Konduktor hin und wieder zurück (Fig. 162). Der Ausschlag eines auf dem Konduktor angebrachten Doppelpendels wird dabei, wenn die Scheibe nicht mehr gedreht wird, immer kleiner. — 6. Isoliert man das Blech oder vertauscht man es mit einer Htg.-Scheibe, so tritt diese Ersch. nicht ein. — 7. Bringt man das obere, mit einer Metalleinfassung versehene Ende einer schlecht leitenden Glasröhre (Fig. 163) oder Glasscheibe, welche in sehr kurzen Abständen mit zahlreichen kleinen, rautenförmigen Stanniolblättchen beklebt ist, mit dem Konduktor in Berührung, während man das untere Ende mit dem Finger ableitend berührt, so springen zwischen sämtlichen Blättchen zahlreiche kleine Funken über. (Blitzröhre, Blitztafel.) — 8. Hält man die (nicht geriebene) Htg.-Scheibe des Elektrophors mit darauf liegendem Deckel nahe über den Konduktor (Fig. 164), so giebt ein auf dem Deckel befestigtes Doppelpendel (mit Leinenfäden) durch +E. einen Ausschlag, sobald die Maschine gedreht wird. — 9. Werden hierauf Scheibe und Deckel aus der el. Atm. entfernt, so erhält man, nachdem man den Deckel ableitend berührt und darauf von der Platte abgehoben hat, abermals einen Ausschlag, aber durch —E. — 10. Läfst man eine Person auf einen Isolierschemel treten (Brett mit Glas- oder Htg.-Füfsen) und den Konduktor mit der Hand berühren, so erhält man einen Funken, wenn man irgend einem Körperteile der Person mit dem Fingerknöchel nahe genug kommt; dieselbe kann mit einer Fingerspitze das einem metallenen Brenner entströmende Leuchtgas entzünden, ihre Haare sträuben sich u. s. w.

Fig. 162.

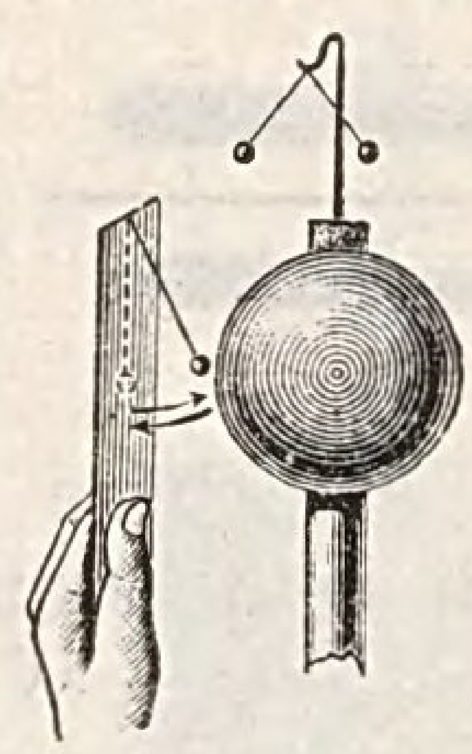


Fig. 163.

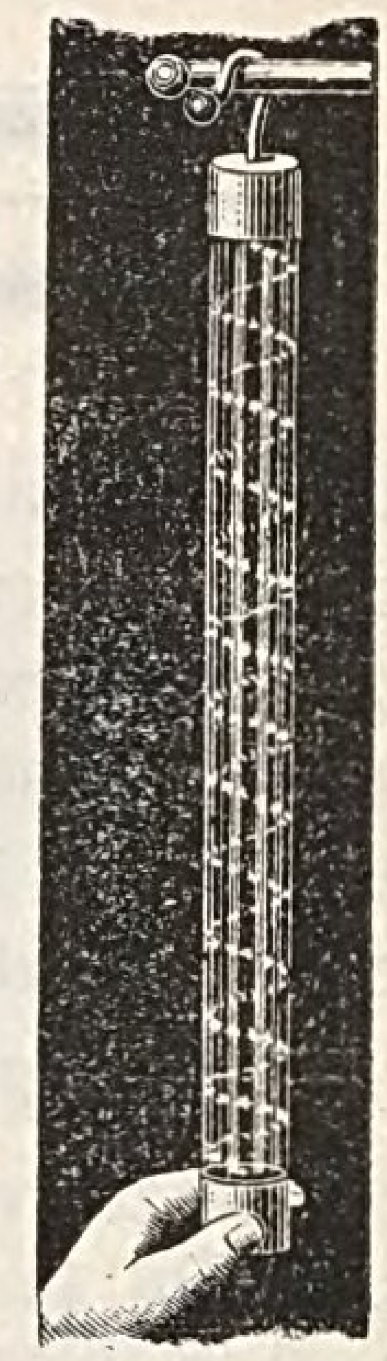
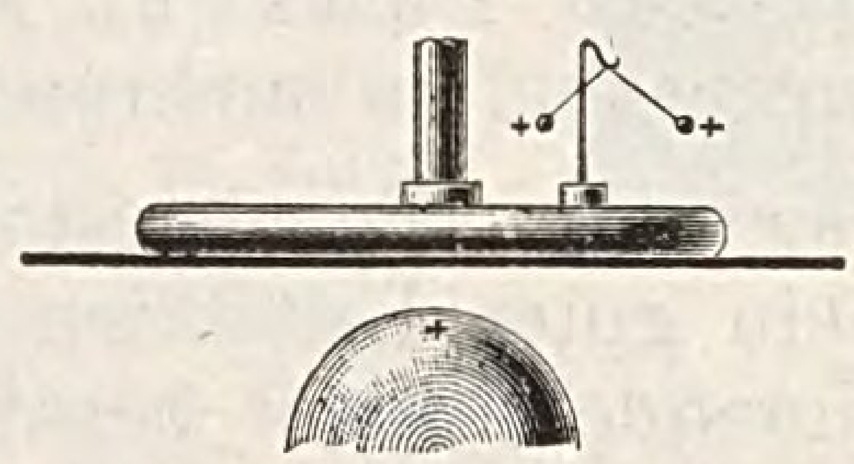


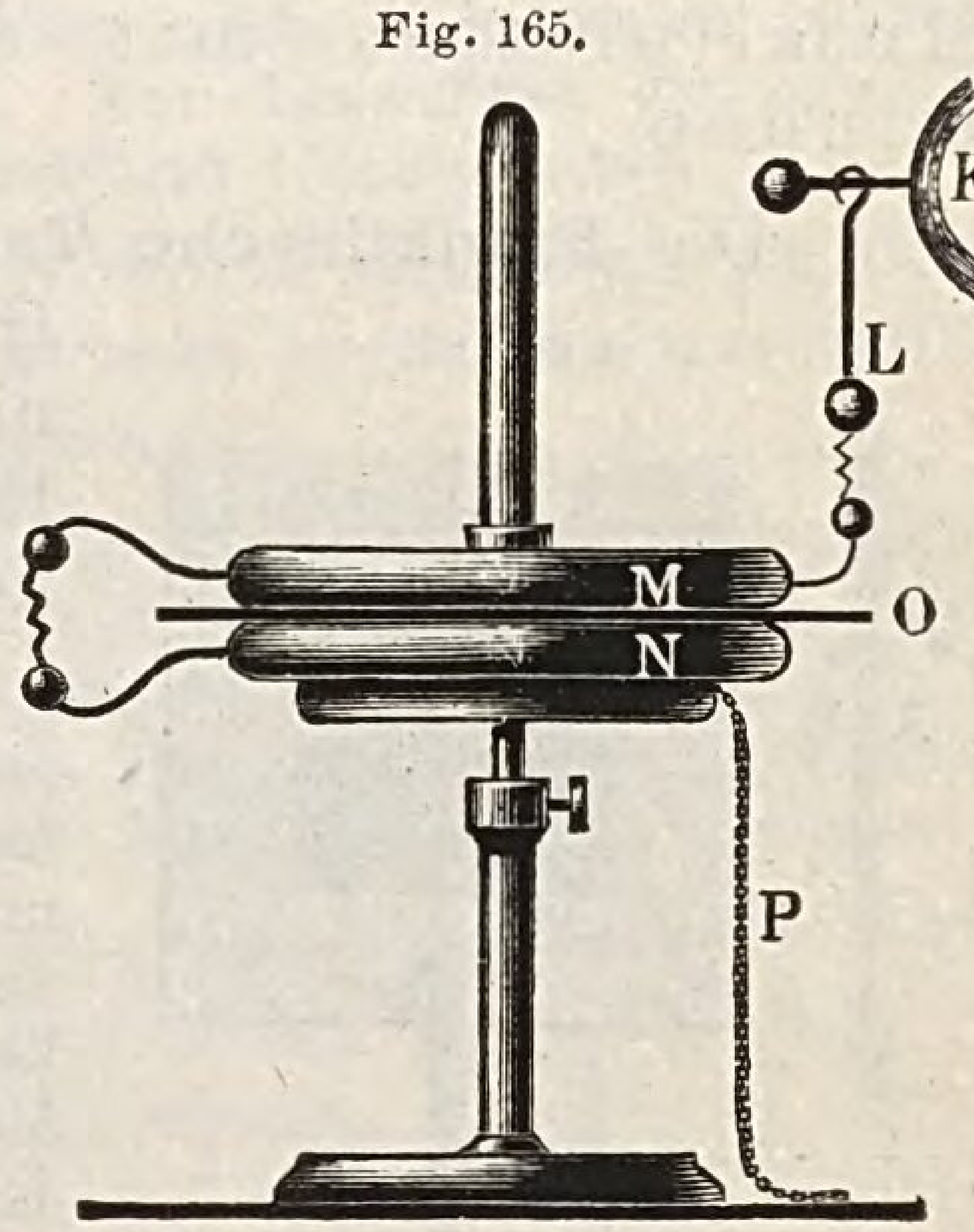
Fig. 164.



§ 47. Ansammlung von Elektricität. Kondensatoren.

***Versuch a.** Läfst man auf den Deckel des nicht elektrisierten Elektrophors, nachdem man den Teller desselben mit der Erde leitend verbunden hat, vom Konduktor der Elektrisiermaschine Funken überschlagen, so springen in gröfseren Pausen zwischen den Rändern der beiden Metallplatten an verschiedenen Stellen ebenfalls Funken über, welche weit kräftiger und bedeutend heller sind als jene. Wendet man zwei Metallplatten an, welche am Rande mit einem kugelförmig endigenden Drahtfortsatze versehen und durch eine Hartgummiplatte isoliert sind (M und N, Fig. 165), so läfst sich durch eine geeignete Stellung der Platten bewirken, dafs die stärkeren Funken nur zwischen den Kugeln entstehen.

Fig. 165.

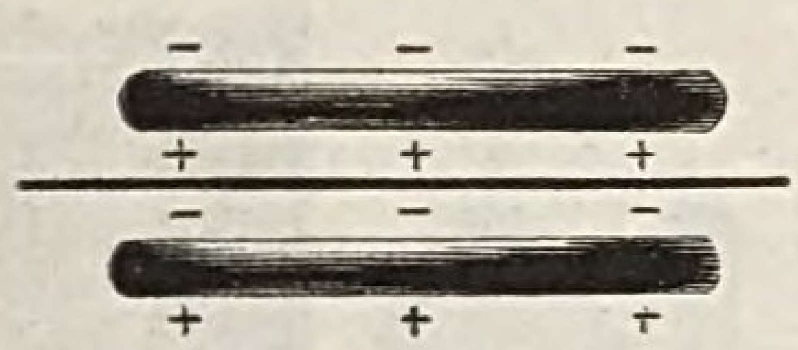


Apparate, welche aus zwei durch eine isolierende Schicht getrennten Leitern bestehen und dazu dienen, Elektricität anzusammeln, heifsen **Kondensatoren**[1]) *(Verdichter).*

[1]) condensare, dicht machen, verdichten.

Erkläre den el. Vorgang des obigen Versuches nach Anleitung der Fig. 166:
a. für den Fall, dafs der Apparat isoliert aufgestellt sei und keine Funken überspringen,
b. für den Fall, dafs die untere Platte wie oben mit dem Erdboden leitend verbunden ist und Funken überspringen. — Zur genaueren Erklärung diene folgender Versuch:

Fig. 166.



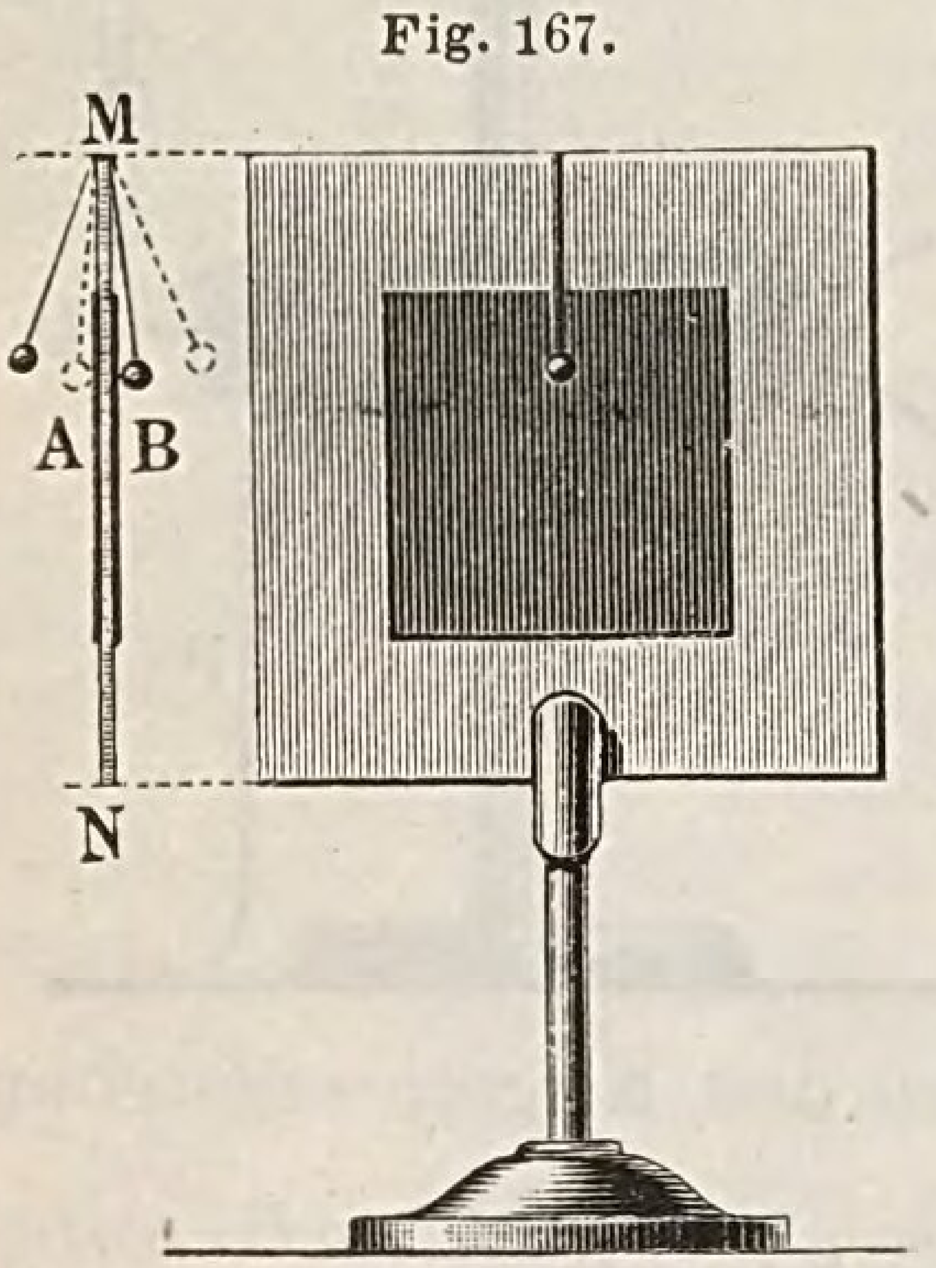
Versuch b. Ladet man den isoliert aufgestellten Kondensator wie vorhin, indem man die untere Platte dabei ableitend berührt, und hebt dann die obere Platte und hiernach auch die Htg.-Scheibe ab, so zeigen sich beide Metallplatten nur schwach el. und zwar die obere + el., die untere — el. Werden darauf beide Platten ableitend berührt, so erhält man, wenn man den Apparat wieder zusammensetzt, doch noch einen kräftigen Funken, selbst wenn man beide Seiten der Htg.-Scheibe abwechselnd in mehreren Punkten ableitend berührt hatte.

Erklärung: Die abgestofsene + E. der oberen Platte breitet sich, da letztere ein guter Leiter ist, auf der ganzen Fläche aus, in welcher sie die isolierende Schicht berührt; dasselbe gilt auch von der angezogenen — E. der unteren Platte. Beide Elektricitäten sind derart gebunden, dafs sie selbst durch das Abheben der Platten von der isolierenden Schicht nicht entfernt werden können. Bei beiden ist somit das Bestreben, sich wieder zu entfernen, sehr geschwächt. Infolgedessen läfst sich weit mehr E. ansammeln, als wenn die Spannung beim Laden des Kondensators ungeschwächt zunähme. Sobald die Spannung eine gewisse Gröfse erreicht hat, tritt durch die leitenden Platten zwischen den Kugeln eine el. Ausgleichung und damit eine plötzliche Entladung des Kondensators ein.

Während der **Platten-Kondensator** (Fig. 165) zerlegbar ist, sind bei der **Franklinschen Tafel** und der **Leydener Flasche** die beiden Metallplatten mit der isolierenden Schicht fest verbunden.

Die **Franklinsche Tafel** (Fig. 167) besteht aus einer isolierenden Glasscheibe, welche auf beiden Seiten mit Stanniol so beklebt ist, dafs ein etwa 5 cm breiter Rand frei bleibt; dieser ist der besseren Isolierung wegen gefirnifst.

Fig. 167.



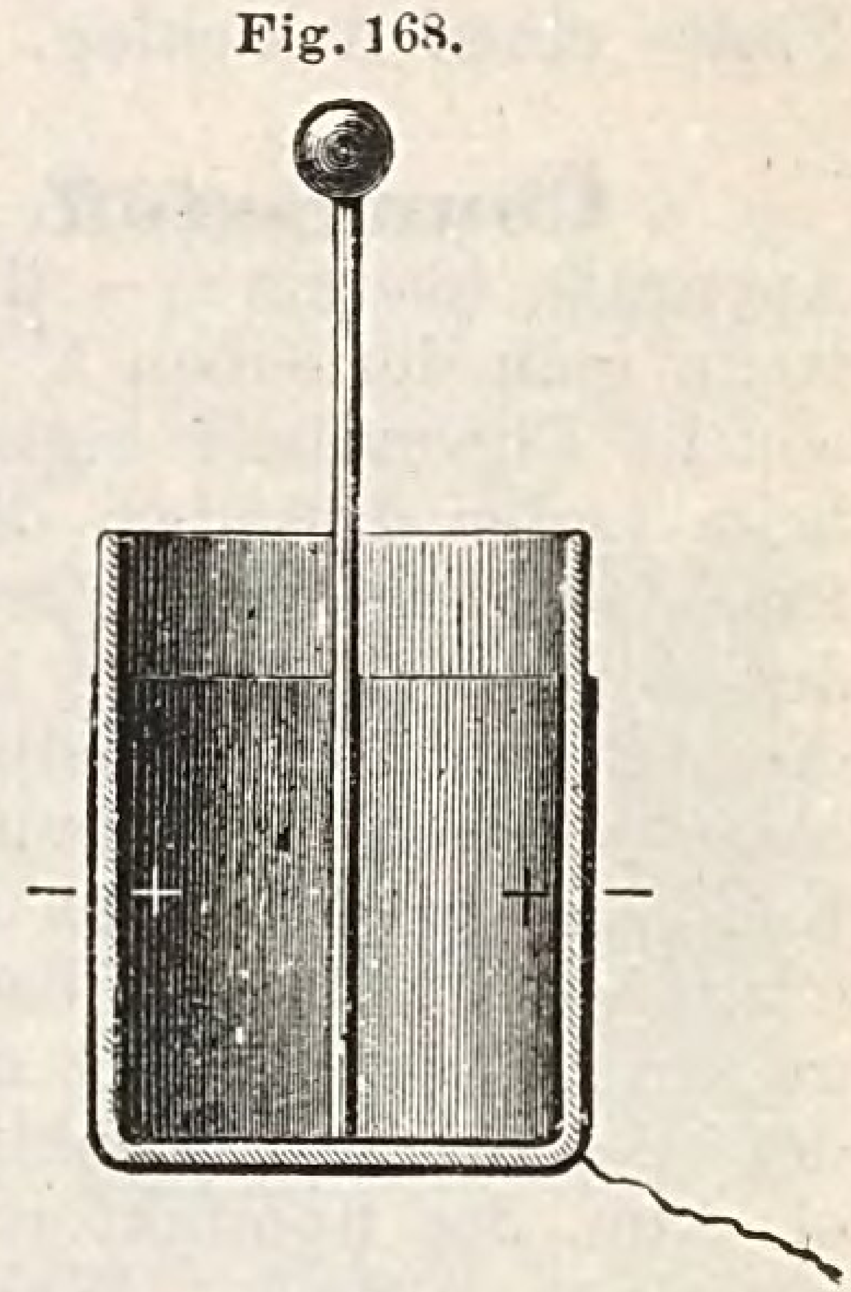
Um die Tafel mit E. zu laden, läfst man auf die eine Metallbelegung vom Konduktor der Elektrisiermaschine Funken überspringen, oder man bringt sie mit dem Konduktor in Berührung und berührt die andere Belegung ableitend. Zum Entladen der Tafel läfst sich ein isolierter (mit Guttapercha überzogener) Messing- oder Kupferdraht anwenden, welcher an jedem Ende mit einer Kugel versehen ist (**Auslader,** Fig. 169).

Bem. In Fig. 167 (links) ist auf beiden Seiten von MN angedeutet, welche Bewegungen zwei auf die Metallflächen herabhängende Pendel ausführen, wenn man die Metallbelegungen abwechselnd mit dem Finger berührt (allmähliche Entladung).

Die **Leydener Flasche** (Fig. 168, folg. Seite) ist ein Gefäfs, das aus isolierendem Glase besteht und bis nahe zum oberen Rande in- und

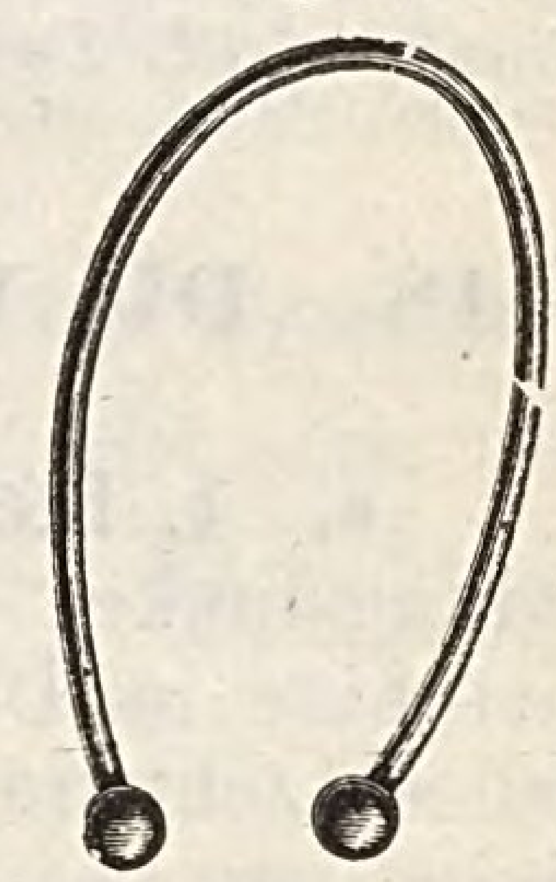
auswendig mit Stanniol beklebt ist, während der freibleibende Rand gefirnifst wird. Im Deckel des Gefäfses ist ein Messingdraht befestigt, welcher oben eine Kugel trägt und unten durch eine bis auf den Boden hinabreichende Kette mit der inneren Metallbelegung in leitender Verbindung steht.

Fig. 168.



Die Flasche wird geladen, indem man den Knopf an den Konduktor der Elektrisiermaschine hält und die äufsere Belegung mit der Hand berührt oder durch einen Draht mit dem Erdboden in Verbindung setzt. Die der inneren Belegung mitgeteilte Ladung (+E.) wirkt verteilend auf die äufsere Belegung, zieht eine Ladung von —E. an und stöfst +E. ab. Eine starke Ladung ist also nur möglich, wenn die Flasche mit der Erde in leitender Verbindung steht. (Nachweis durch einen Versuch, indem man die Flasche auf eine isolierende Unterlage stellt.) Besteht eine Flasche aus gut isolierendem Glase, so kann sie in trockenem und staubfreiem Zustande stundenlang geladen bleiben; finden jedoch die sich gegenseitig anziehenden Elektricitäten der inneren und äufseren Belegung einen Weg zur Ausgleichung, so erfolgt diese, indem mit lautem Knall ein heller Funke überspringt: **Funkenentladung** (*Entladung durch die Hand oder durch den Auslader* (Fig. 169); bei starker Spannung erfolgt auch oft eine *Entladung über den Rand der Flasche hinweg,* unter Umständen auch eine *Durchbohrung des Glases,* wodurch natürlich die Flasche unbrauchbar wird). *Die Entladung kann jedoch auch allmählich erfolgen,* indem die in grofser Dichte angehäufte E. benachbarte Luftteilchen elektrisiert und diese, indem sie abgestofsen werden, einen Teil der Ladung mit fortführen.

Fig. 169.



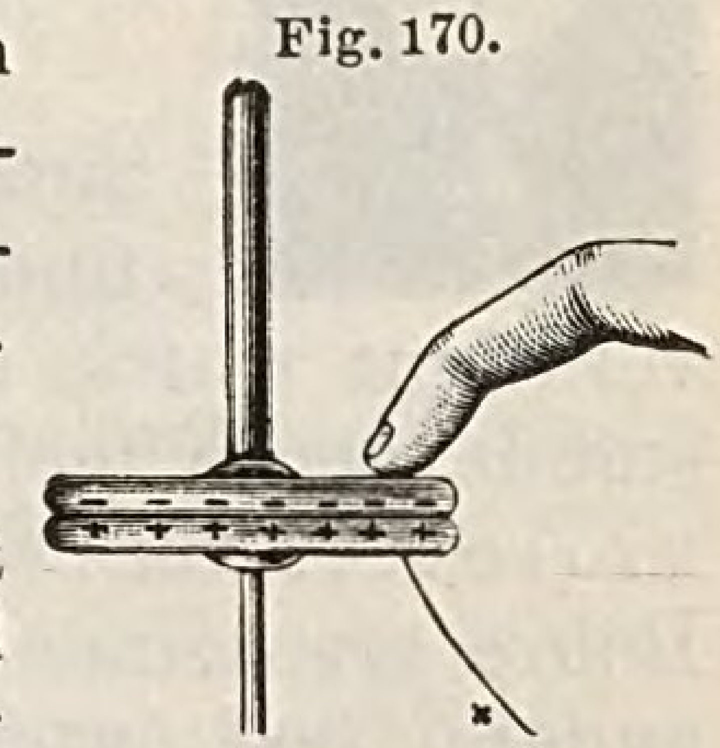
Eine Flasche, die bereits entladen wurde, ergiebt bei abermaliger Entladung einen zweiten schwächeren Funken und so fort bei wiederholter Entladung, namentlich wenn sie inzwischen einige Zeit sich selbst überlassen blieb. Es mufs also in der Flasche ein Teil der Ladung zurückgeblieben sein, der wahrscheinlich am Glase haftete und nach der Entladung wieder in die Belegungen zurückkehrte (*Versuch mit einer zerlegbaren Flasche). Man bezeichnet den zurückgebliebenen Teil der Ladung als **elektrischen Rückstand (Residuum).**

Um sehr starke elektrische Ladungen zu erhalten, stellt man mehrere Flaschen zu einer **el. Batterie** *zusammen, indem man sowohl ihre inneren, als auch ihre äufseren Belegungen leitend verbindet.*

Die Leydener Flasche wurde fast gleichzeitig von Kleist in Kammin (daher auch Kleistsche Flasche genannt) und von Musschenbroek und Cuneus in Leyden entdeckt (1745). Letzterer erhielt einen heftigen Schlag, als er eine halb mit Wasser gefüllte Flasche in der einen Hand hielt und mit der anderen Hand einen Nagel berührte, durch welchen el. Funken nach dem Wasser überschlugen.

Zur Ansammlung sehr geringer Mengen von E. dient der **Kondensator von Volta** (Fig. 170). Dieser besteht aus zwei kleinen messingenen oder kupfernen Platten, welche auf den beiden einander zugewandten Seiten mit einer dünnen, isolierenden Lackschicht überzogen sind, und von denen die obere mit einer isolierenden Handhabe versehen ist.

Fig. 170.



Der Voltasche Kondensator wird gewöhnlich mit einem Goldblatt-Elektroskope verbunden, indem man die Kugel von letzterem entfernt und sie durch die untere Kondensatorplatte ersetzt; auf letztere wird die mit der Handhabe versehene Platte gestellt. Darauf bringt man den Körper, von welchem man vermutet, dafs er el. sei, etwa

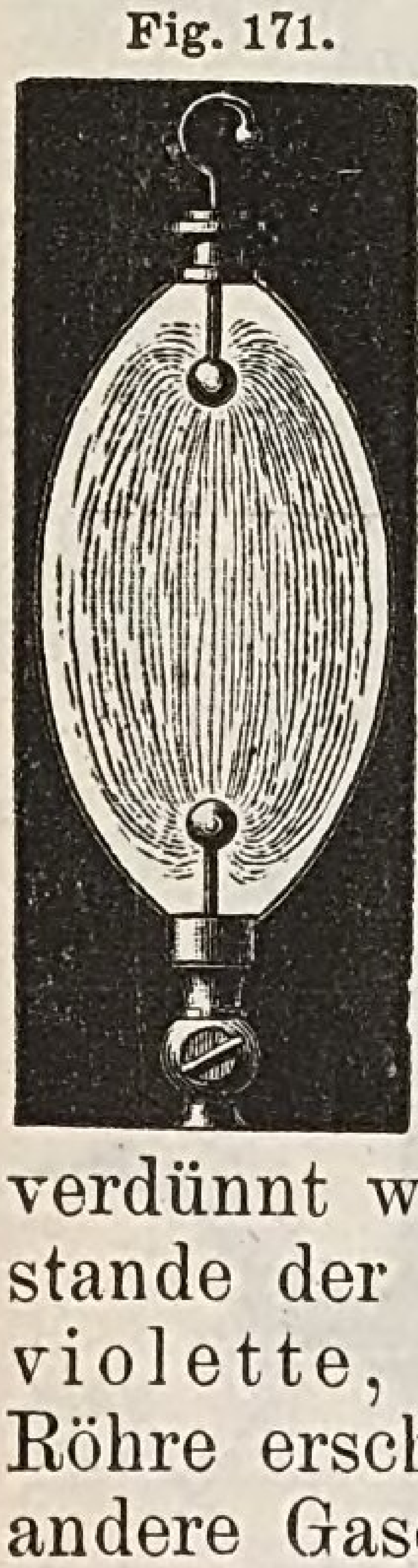
mit der unteren Platte in Berührung, indem man die obere Platte mit dem Finger ableitend berührt, und hebt schliefslich die obere Platte ab. Hat sich dabei genug E. in den Platten angesammelt, so geben die Goldblättchen beim Abheben der Platte einen Ausschlag.

Übungsstoff. 1. Worin stimmt die Einrichtung der el. Ansammlungs-Apparate überein? — 2. Welchen Zweck hat die Htg.-Scheibe des Elektrophors, wenn man denselben a. als Elektrophor, b. als Kondensator anwendet? — 3. Durch welche Eigenschaft eignen sich die Metallplatten des Kondensators besonders dazu, beim Laden desselben die E. auf der isolierenden Platte schnell auszubreiten, beim Entladen den Abflufs der E. zu beschleunigen? — 4. Warum mufs die Htg.-Scheibe des Kondensators (Fig. 165) gröfser sein als die Metallplatten? — 5. Warum dürfen die Metallplatten desselben hohl sein? — 6. Warum ist es unmöglich, in den Platten ohne isolierende Trennung derselben ebensoviel E. anzusammeln, als wenn sie zum Kondensator verbunden sind? — 7. Glas kondensiert leicht Wasserdämpfe auf seiner Oberfläche und wird dadurch leitend; durch einen Firnis-Überzug wird dem vorgebeugt. Inwiefern ist dies bei den betreffenden Kondensatoren berücksichtigt worden? — 8. Eine Franklinsche Tafel sei, ohne ableitend berührt zu werden, in die el. Atm. des Konduktors gebracht, sodafs sie sich noch aufserhalb der Schlagweite derselben befinde. Welcher el. Vorgang wird dann eintreten? (Zeichnung!) — 9. Von welchen Bedingungen hängt die Stärke der Ladung einer Leydener Flasche ab? — 10. In welcher verschiedenen Weise kann dieselbe entladen werden? — 11. Warum ist bei dem Kondensator von Volta die isolierende Doppelschicht sehr dünn? — 12. Zweck der Doppelschicht?

§ 48. Die Wirkungen und die Dauer der elektrischen Entladung.

a. 1. **Lichtwirkung.** *Funkenentladung.* **Versuch a.** Der Entladungsfunke, wie er zwischen den Konduktoren einer Influenzmaschine im Dunkeln beobachtet werden kann, ist ein dünner, blendend heller Lichtstreifen. Vergröfsert man den Abstand der Konduktoren auf einige cm, so wird der Entladungsfunke eine unregelmäfsige Zickzacklinie, die merkwürdige Verzweigungen und Verästelungen zeigt, wenn man an dem einen Konduktor statt der Kugel eine gröfsere Metallscheibe anbringt (vergl. § 49: Form des Blitzes).

Fig. 171.



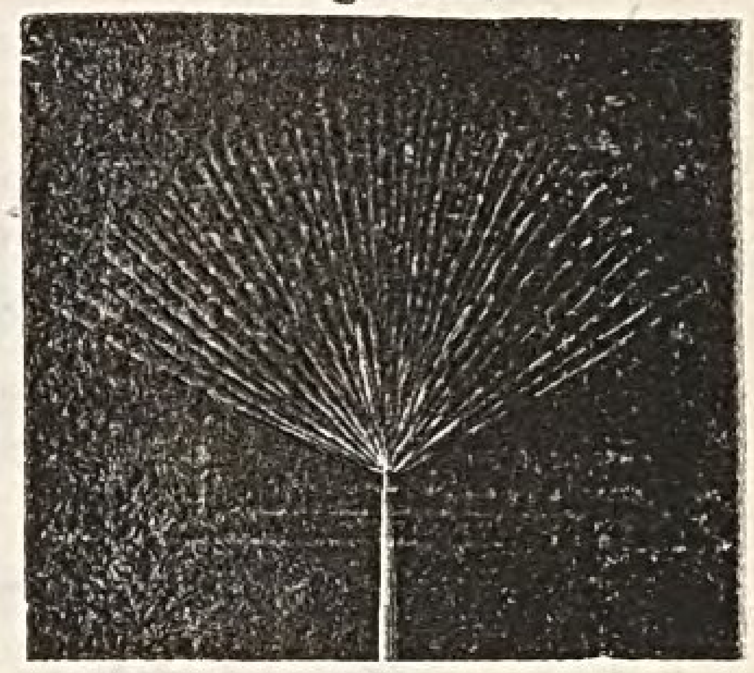
Die Länge und der Glanz des el. Funkens hängt von der Spannung und Menge der E., sowie von der Luftbeschaffenheit ab, die Farbe hauptsächlich von den Metallflächen, zwischen denen die Entladung stattfindet (Kupfer z. B. giebt grünliche, Eisen rötliche Funken). Eingehende Untersuchungen haben ergeben, dafs der Funke ebensowohl Teilchen der Metalle losreifst und verflüchtigt, wie er auch Luftteilchen ins Glühen versetzt.

Entladung in luftverdünnten Räumen. ***Versuch b.** Sind die Kugeln, zwischen denen die el. Ausgleichung stattfindet, in ein Glasgefäfs eingeschlossen, in dem die Luft verdünnt wurde (el. Ei, Fig. 171), so entsteht auch bei gröfserem Abstande der Kugeln statt eines einzelnen Funkens eine schöne blafsviolette, verzweigte Lichtgarbe. In einer mit Wasserstoff gefüllten Röhre erscheinen die Funken karminrot, in Kohlensäure grünlichweifs, andere Gase erteilen den Funken wieder andere Farben. (Geifslersche Röhren.)

In verdünnter Luft und in verdünnten Gasen ist der el. Funke breit, bandförmig und bedeutend länger als in gewöhnlicher Luft, seine Farbe hängt von der Natur des Gases ab.

Büschel- und Glimmentladung. *Versuch c. Wird der + Konduktor im dunklen Zimmer stark geladen, so strömt die E. aus demselben in bläulichen oder violetten Lichtbüscheln (Fig. 172) aus; diese sogen. **Büschelentladung** ist stets von einem knisternden oder zischenden Geräusch begleitet und wird dadurch befördert, dafs man dem Lichtbüschel in einiger Entfernung (sodafs keine Funken überschlagen können) einen guten Leiter, etwa die flache Hand, gegenüberhält. Wird der abgerundete Konduktor mit einer Spitze in Verbindung gebracht (zugespitzter Eisendraht, Holzstäbchen), so verschwindet der Büschel und es tritt ein ruhiges, gleichmäfsiges Ausströmen der E. ein: **Glimmentladung.**

Fig. 172.



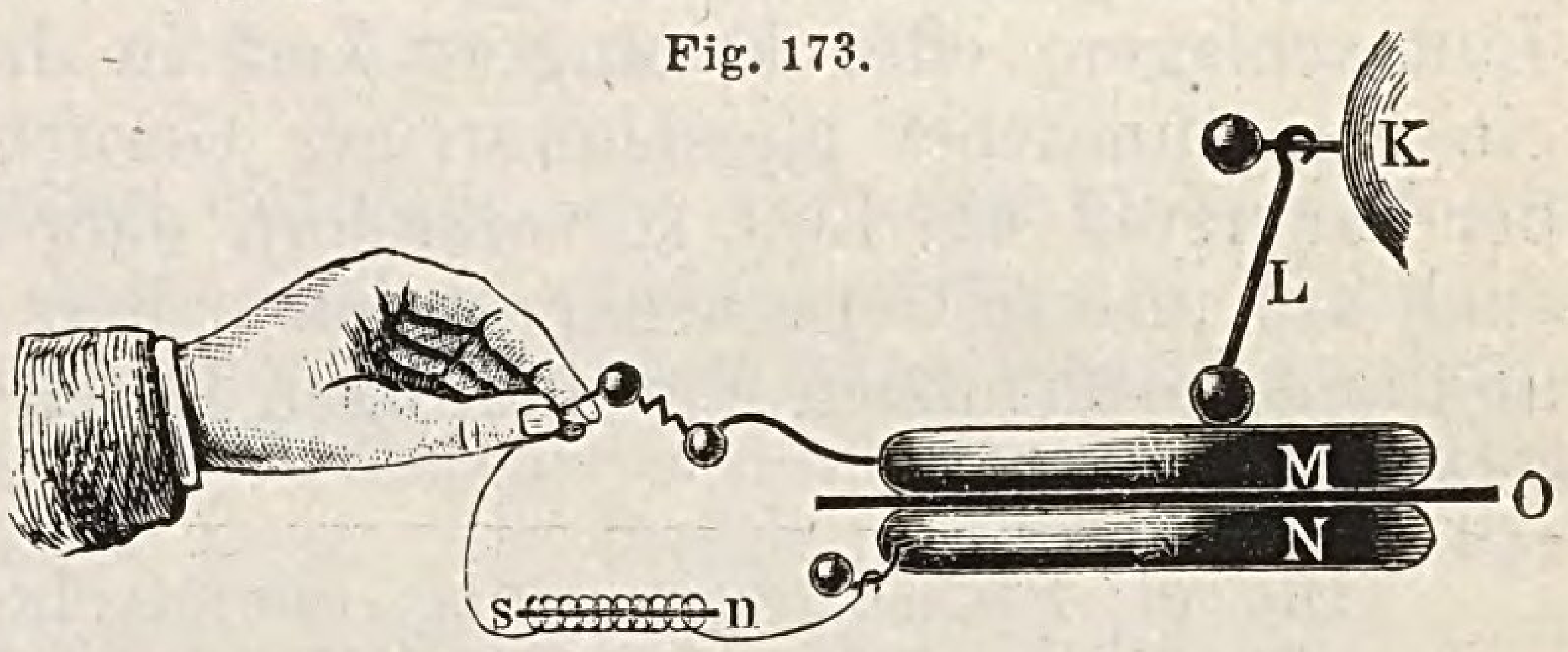
Auf Spitzen am — Konduktor entstehen Lichtpunkte.

Woraus erklärt es sich, dafs diese Erschn. sich umkehren, wenn man die Spitzen den Konduktoren gegenüberhält, sowie dafs die zu beiden Seiten der Scheibe angebrachten sogen. Saugspitzen die Licht-Ersch. des neg. Konduktors zeigen? Beobachtung der Erschn. an den Saugspitzen der Influenzmaschine!

Wenn auf einem Leiter angesammelte E. von starker Spannung sich nicht durch **Funkenentladung** ausgleichen kann, so tritt eine allmähliche Entladung durch **Büschel-** oder **Glimmlicht** ein; diese Lichterscheinungen sind nur im Dunkeln wahrnehmbar.

2. Magnetische Wirkung. **Versuch d.** In die Windungen eines übersponnenen und schraubenförmig gewundenen Kupferdrahtes sei ein Stahlstäbchen gelegt (sn, Fig. 173). Befestigt man dann auf dem einen Ende des Drahtes eine Metallkugel und verbindet das andere Ende mit der unteren Platte des Kondensators, so wird das Stäbchen dadurch, dafs man Funken auf die Kugel überschlagen läfst, magnetisch. In entgegengesetzter Lage des Stäbchens kehren sich die Pole durch wiederholte Entladungsschläge wieder um.

Fig. 173.



Eisen- und Stahlstäbe werden unter der Einwirkung eines in Windungen um dieselben geführten Entladungsschlages magnetisch.

Man hat ferner nachgewiesen, dafs Entladungsströme von genügender Stärke, wenn sie an einer Magnetnadel parallel zur magnetischen Achse derselben vorbeigeführt werden, einen Ausschlag der Nadel bewirken.

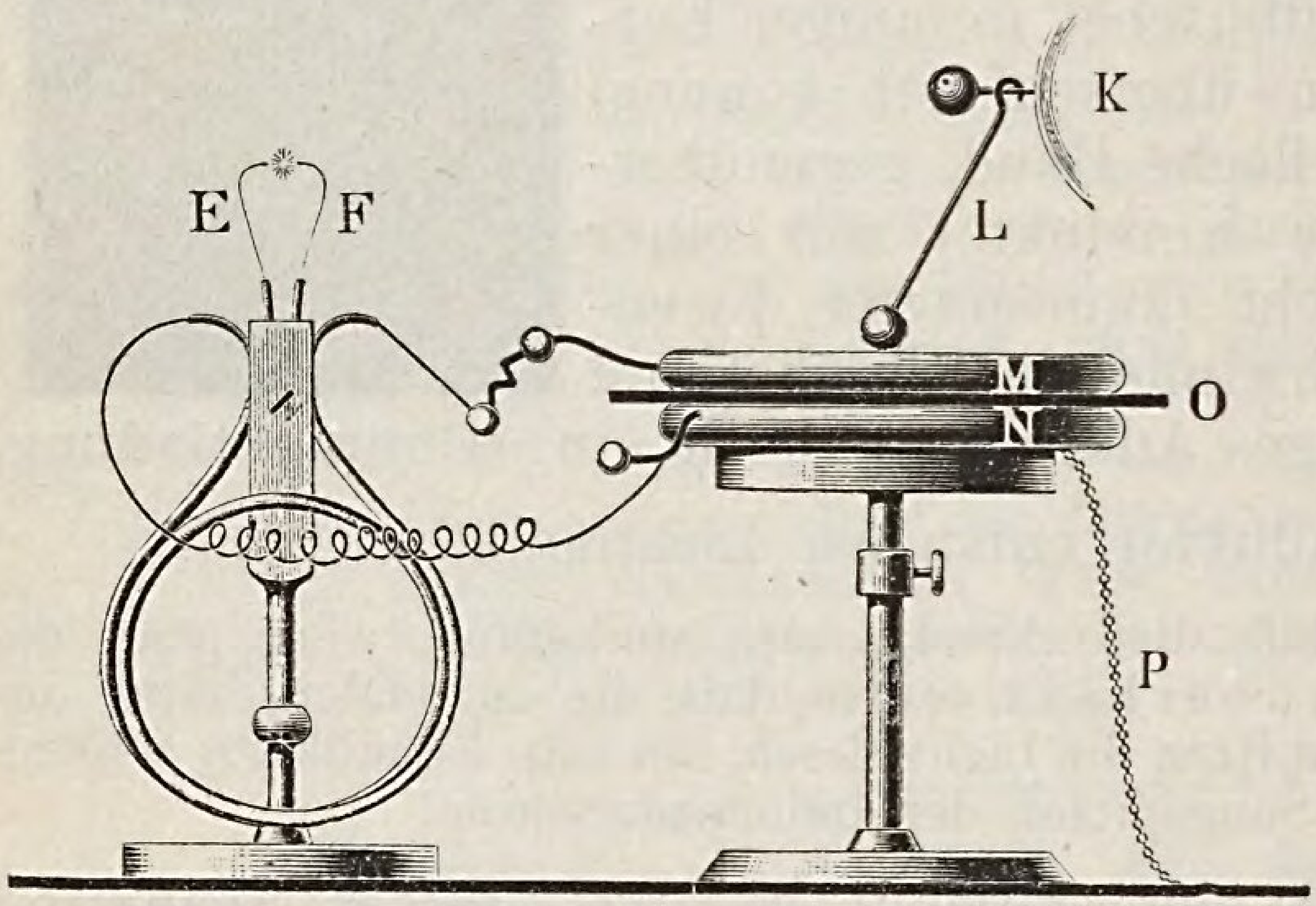
3. Elektrische oder Induktionswirkung. Man kann sich die Verbreitung der E. in einen Leitungsdraht so vorstellen, als ob die + E.

des Konduktors durch den Draht zum Reibzeuge, die —E. des Reibzeuges dagegen zum Konduktor flösse.

Werden zwei ungleichnamig el. Körper durch einen guten Leiter miteinander verbunden, so gleichen sich ihre Elektricitäten so aus, als ob die E. des einen Körpers durch den Leiter hindurch nach dem anderen flösse: **Elektrischer Strom.**

* **Versuch e.** Läfst man den Entladungsschlag des zerlegbaren Kondensators oder einer stark geladenen Influenzmaschine durch einen mit Guttapercha umgebenen Kupferdraht hindurchgehen, mit welchem man einen anderen Kupferdraht so verbunden hat, dafs beide Drähte parallel und isoliert nebeneinander liegen, so springt im Augenblicke der Entladung zwischen den einander genäherten Enden (E und F, Fig. 174) des Nebendrahtes ebenfalls ein kleiner Funke über. Hieraus folgt:

Fig. 174.



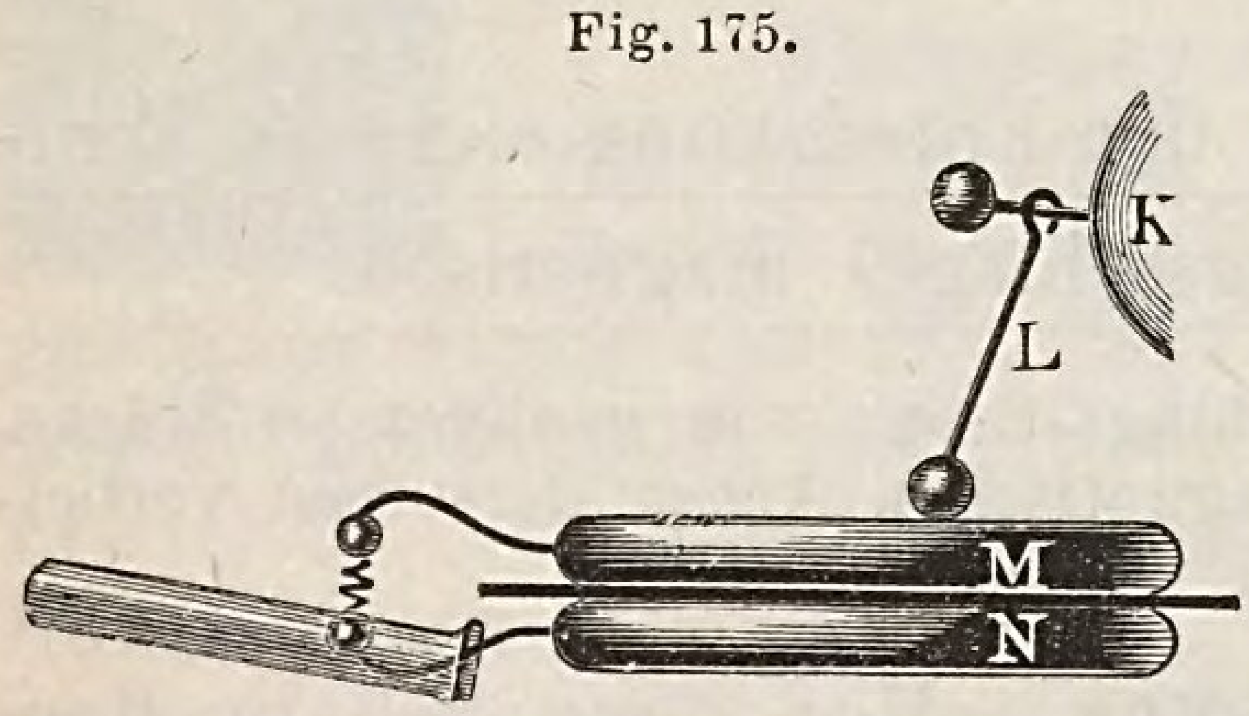
Der el. Entladungsstrom ruft in einer benachbarten, der Hauptleitung parallelen Nebenleitung eine el. Bewegung **(Induktionsstrom)** hervor, welche sich an der kurzen Unterbrechungsstelle der Nebenleitung durch einen kleinen Funken **(Induktionsfunken)** zu erkennen giebt.

4. Chemische Wirkung. Wenn wiederholt el. Funken durch die Luft schlagen, oder E. längere Zeit in die Luft ausströmt, so entsteht ein eigentümlicher phosphorartiger Geruch. Durch die E. wird nämlich der Sauerstoff der Luft so verändert, dafs er stark oxydierend wirkt und auch auf unsere Geruchsnerven einen Reiz ausübt (Ozon [1]). Salzlösungen und andere chemische Verbindungen lassen sich durch kräftige Entladungsschläge zersetzen.

Die el. Entladung vermag chemische Wirkungen hervorzubringen.

5. Mechanische Wirkung. ***Versuch f.** Dünnes Glas, ein Kartenblatt oder ein anderer schlechter Leiter wird beim Überschlagen eines Funkens durchbohrt (Fig. 175). Das Glas zeigt an der vom Funken getroffenen Stelle feine Risse, das Kartenblatt ein feines Loch, dessen Ränder nach beiden Seiten aufgeworfen sind. Flüssigkeiten werden durch kräftige el. Entladungen gewaltsam auseinander geschleudert.

Fig. 175.

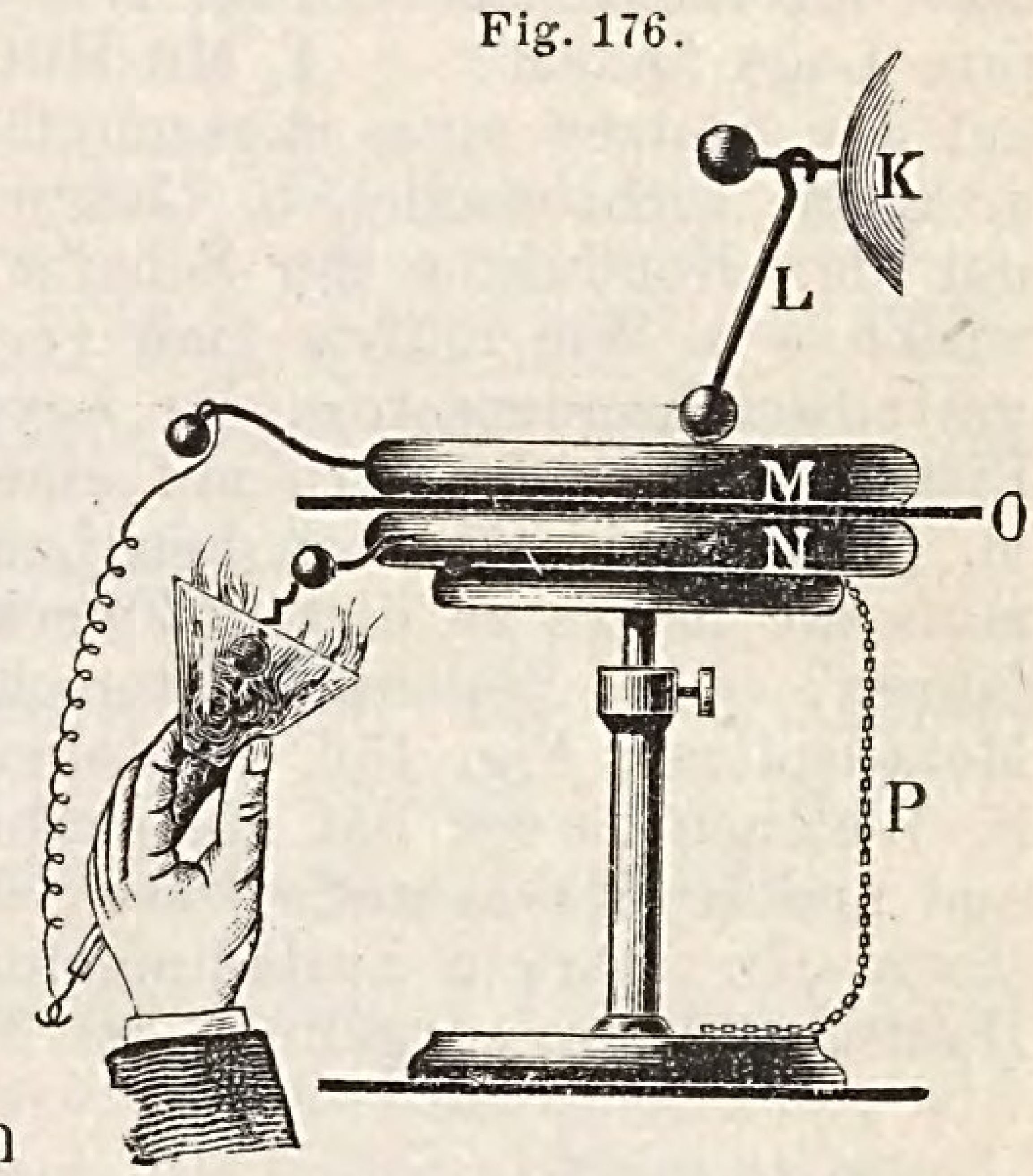


[1]) ὤζειν (ózein), riechen.

Körper, welche die Leitung der E. bei der Entladung unterbrechen, werden gewaltsam durchschlagen.

6. Wärmewirkung. *Versuch g. Läfst man den Entladungsfunken des Konduktors der Elektrisiermaschine oder eines Kondensators auf einen abgerundeten Leiter (Draht mit Kugel) überspringen, welcher von einer leicht entzündbaren Flüssigkeit (etwa Äther auf Baumwolle getröpfelt) umgeben ist, so entzündet sich die Flüssigkeit durch den Funken (Fig. 176). — Dasselbe tritt auch ein, wenn man zwischen beiden Kugeln, während der Funke überschlägt, Leuchtgas oder Wasserstoffgas ausströmen läfst. — Sehr dünner Eisen- oder Platindraht läfst sich durch den Entladungsschlag zum Glühen bringen.

Fig. 176.



Bei der el. Entladung wird sowohl an der Unterbrechungsstelle, als auch im Leitungsdrahte des Entladungsstromes Wärme erzeugt.

7. Physiologische[1]) Wirkung. Versuch h. Reichen mehrere Personen einander die Hände, so fühlt jede eine heftige Erschütterung in den Gelenken, wenn die erste Person ihren Körper mit der Kugel der einen Kondensatorplatte in leitende Verbindung bringt, und die letzte der anderen Kondensatorplatte etwa den Fingerknöchel soweit nähert, dafs ein Funke überspringt.

Der Entladungsschlag übt auf die Nerven einen starken Reiz aus, welcher schmerzhafte Muskelzuckungen hervorruft.

b. Dauer der el. Entladung. Beliebig viele Personen empfinden den Entladungsschlag gleichzeitig, da er sich in guten Leitern auf nicht sehr weite Entfernungen hin mit unmefsbar grofser Geschwindigkeit fortpflanzt. In sehr langen Drähten ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der el. Entladung geringer, besonders dann, wenn die Drähte weniger gut leiten. Von der aufserordentlich geringen Dauer des Entladungsschlages kann man sich durch folgenden Versuch überzeugen.

Versuch i. Im verdunkelten Zimmer setzt man vor den Konduktoren einer Influenzmaschine eine Farbenscheibe in sehr schnelle Umdrehung. Wird dieselbe durch den Entladungsfunken beleuchtet, so scheint sie durchaus still zu stehen, wie schnell sie sich auch dreht; man erblickt ganz scharf die einzelnen Sektoren, während dieselben bei anderer Beleuchtung zu einer grauen Fläche verschmelzen.

Auch der Blitz ist von aufserordentlich kurzer Dauer.

[1]) Physiologie, Lehre von der Thätigkeit der Organe.

Übungsstoff. 1. Man kann die Helligkeit von el. Funken dadurch erhöhen, dafs man die Kugeln, zwischen denen der Funke überspringt, mit Qu. amalgamiert. Wie mag sich dies erklären? — 2. Man will im dunklen Zimmer über dem Konduktor der Elektrisiermaschine einen leuchtenden Ring hervorrufen. Welches Hilfsmittels kann man sich hierzu bedienen? Erkl.! — 3. Wie erklärt es sich, dafs der Lichtbüschel, Fig. 172, der vor ihm ausgebreiteten Hand folgt, wenn man ihre Lage ändert? — 4. Mit Hilfe der Elektrisiermaschine soll bewirkt werden, dafs auf den Spitzen eines sägezahnförmig ausgeschnittenen Stückes Papier im Dunklen a. kleine Lichtbüschel, b. Lichtpunkte erscheinen. Wie ist dies zu erreichen, wenn nur der Konduktor der Scheibe oder nur der Konduktor des Reibzeuges benutzt wird? — 5. Wie müfste man verfahren, wenn man statt des in obigen Figuren dargestellten Kondensators die Leydener Flasche benutzen wollte? — 6. In einer el. Pistole, d. h. einer vorn mit einem Stöpsel verschlossenen Blechröhre, soll durch den el. Funken ein Gemisch von Leuchtgas und atm. Luft entzündet werden. a. Wie mufs die Röhre zu diesem Zwecke eingerichtet sein? b. Wie kann man dabei verfahren? — 7. Welche Lichterscheinung würde bei vollständiger Dunkelheit an den Metallspitzen, Fig. 156, entstehen, wenn die Scheibe aus Htg. bestände? Erkl.! — 8. Welchen Zweck hat die Umhüllung der Drähte in Fig. 174? — 9. Schiefspulver und andere Sprengstoffe lassen sich trotz ihrer leichten Entzündbarkeit selbst durch einen sehr starken Entladungsfunken schwer entzünden. Schaltet man eine nasse Hanfschnur ein, so gelingt der Versuch leichter. Wie erklärt sich dies?

Elektrische Erscheinungen in der Atmosphäre.

§ 49. Gewitter. Blitzableiter. Nordlicht. Die Vermutung, dafs Blitz und Donner eine Folge el. Entladungen seien, wurde erst durch die Untersuchungen Benjamin Franklins bestätigt, trotzdem sie schon früher ausgesprochen worden war. Franklin hatte beobachtet (1749), dafs der Blitz fast alle Eigenschaften des el. Funkens besafs (Zickzackrichtung, schnelle Bewegung, Farbe des Lichtes, Leitung durch Metalle und Wasser, schwefelartiger Geruch u. s. w.); er liefs deshalb während eines Gewitters einen Papierdrachen steigen und entzog der Schnur, an die er einen Schlüssel gebunden hatte, zahlreiche Funken, besonders nachdem dieselbe nafs geworden war. Ähnliche Versuche wurden nach Franklins Vorschlag von verschiedenen anderen Naturforschern angestellt; einer derselben, Richmann in Petersburg, hatte dabei das Unglück, von einem Blitzstrahl getötet zu werden.

Untersuchungen, welche man über die E. der Atmosphäre angestellt hat, haben ergeben, dafs die freie Luft stets el. ist und zwar im allgemeinen im Winter stärker als im Sommer und bei heiterem Himmel immer +el.

Um durch einen ***Versuch** die Luftelektricität nachzuweisen, befestige man an dem Drahte eines Goldblattelektroskopes nach dem Abschrauben der Kugel einen Kupferdraht; auf die Spitze desselben steckt man ein Stückchen glimmenden Zündschwamm oder Sprengkohle und hält nun den Draht mittels einer Stange zum Fenster hinaus. Das Auseinandergehen der Blättchen zeigt den el. Zustand der Luft an, der sich schon bei geringen Höhenunterschieden steigert und bei wechselndem Wetter häufig ändert.

Als die wahrscheinliche Ursache der Luftelektricität betrachtet man die an der Erdoberfläche stattfindende Wasserverdunstung.

Wie die Luft eines Zimmers, in welchem eine Elektrisiermaschine arbeitet, mit E. geladen ist, so sind auch die Wolken gewöhnlich elektrisch und die starke Spannung, welche eintritt, wenn die kleinen Wasserteilchen zu Tropfen sich vereinigen, bewirkt in der Erdoberfläche unter der Wolke oder auch in benachbarten Wolken eine Ladung mit der entgegengesetzten E.

Nähert sich eine Gewitterwolke einer unel. Wolke oder Gegenständen der Erdoberfläche, so findet in diesen eine el. Verteilung statt. Es entsteht ein **Blitz,** indem die E. der Wolke sich mit der von ihr angezogenen ungleichnamigen E. plötzlich ausgleicht.

Hiernach ist der *Blitz sowohl nach seiner Form als nach seinen Wirkungen ein gewaltiger el. Funke und der Donner der Schall, welchen der Blitz durch die heftige Lufterschütterung verursacht.*

Der Blitz erscheint entweder als eine *zickzackförmige, hell leuchtende Linie,* welche meilenlang sein kann **(Linien-** oder **Zickzackblitz),** oder als eine *fast gleichmäfsige Erleuchtung des ganzen Gewölkes* **(Flächenblitz).** Im ersteren Falle hört man einen rasselnden Donner, im letzteren ein gleichmäfsiges, allmählich abnehmendes Rollen. Mit Hilfe der Momentphotographie ist es gelungen, die Form der Blitzbahn genauer zu bestimmen; sie zeigt zahlreiche Verzweigungen, etwa wie ein Flufslauf mit seinen Nebenflüssen (§ 48, Versuch a). Da das Licht sich bedeutend schneller fortpflanzt als der Schall (900000 mal so schnell), so ist die Zeit zwischen Blitz und Donner um so gröfser, je weiter der Blitz entfernt ist. Die Dauer des Blitzes ist so gering, dafs es unmöglich ist, zu sagen, an welchem Ende er beginnt und nach welcher Richtung er schlägt, ob aus der Wolke nach der Erde oder umgekehrt; er dauert kaum $\frac{1}{100000}$ von einer Sekunde. Sehr schnell bewegte Gegenstände scheinen während des Blitzens in dunkler Nacht stillzustehen (§ 48, Versuch i). Die lange Dauer des Donners hat ihren Grund in der Länge des Blitzstrahles, da von entfernteren Punkten die Schalle später an unser Ohr gelangen als von näher gelegenen. Das Rollen des Donners und der eigentümliche Wechsel von Piano und Forte in demselben erklärt sich teils aus der gegenseitigen Verstärkung und Schwächung der Schalle, welche von einzelnen Teilen der Zickzacklinie des Blitzes ausgehen, teilweise auch aus der Reflexion des Schalles, welche durch Wolken, Bergwände u. s. w. bewirkt wird.*)

Blitze, deren Donner man wegen ihrer grofsen Entfernung nicht hören kann, rufen das sogen. **Wetterleuchten** hervor. — Nachts ist zuweilen während eines Gewitters auf den Spitzen der Türme, Blitzableiter, Mastbäume u. s. w. ein flammenartiger Schein wahrnehmbar, welcher durch das Ausströmen der E. entsteht (vgl. § 48, Versuch c). Diese Erscheinung wird **St. Elmsfeuer** genannt.

Die seltene Erscheinung der sogen. Feuerkugeln **(Kugelblitze),** welche langsam auf die Erde herabsinken und sich oft noch eine Strecke weit an den Gegenständen fortbewegen, ohne diese zu beschädigen, dann aber mit heftigem

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 95 (Interferenz).

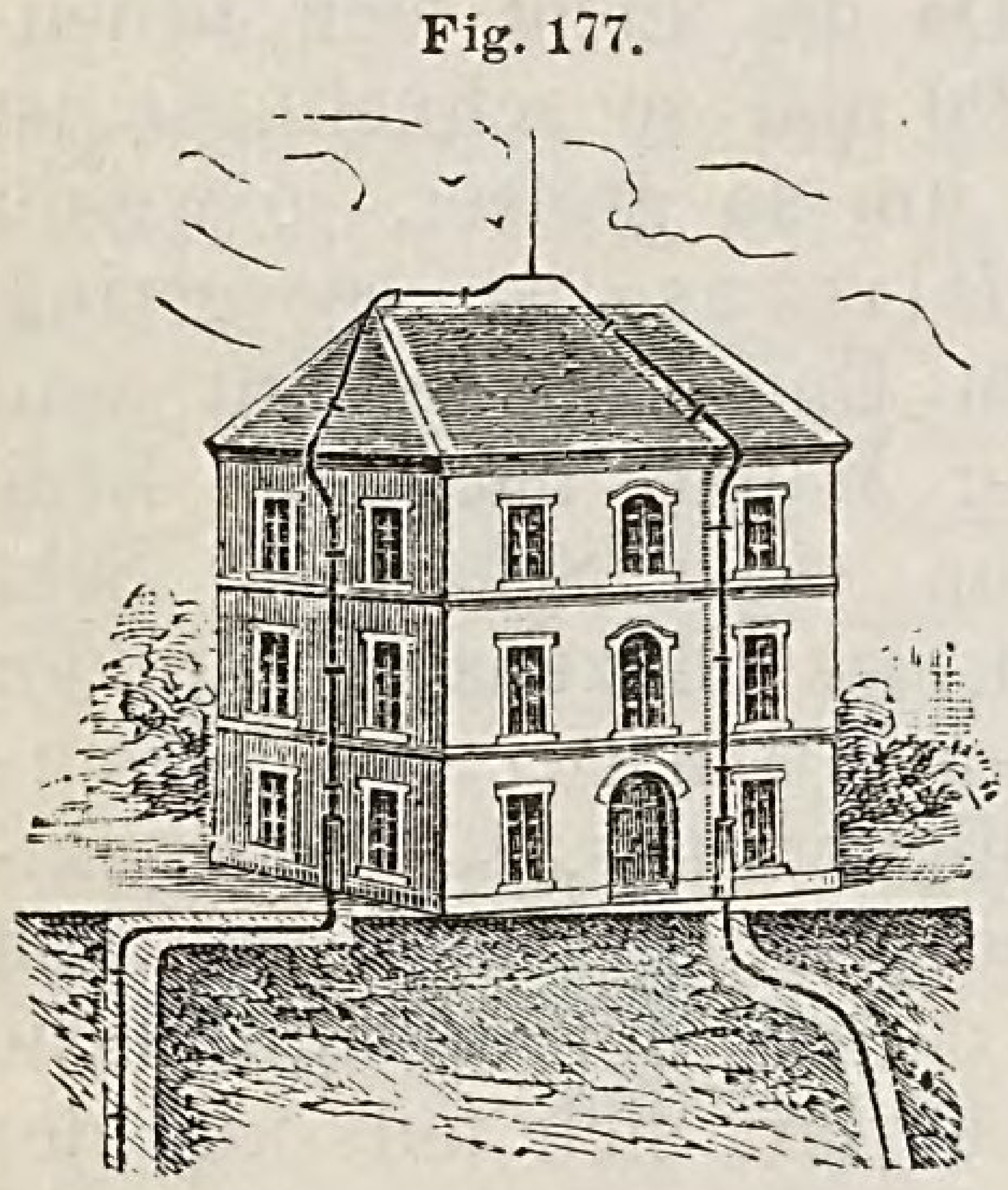
Knalle zerplatzen, ist noch nicht genügend erklärt. Indes ist es neuerdings gelungen, dieselbe durch Versuche nachzuahmen.

Die Erfahrung lehrt, dafs hoch hervorragende Gegenstände am leichtesten vom Blitze getroffen werden. Der Blitz folgt dabei den besten Leitern; bei gleichguten Leitern schlägt er den kürzesten Weg ein. Reicht ein vom Blitze getroffener guter Leiter bis in den Erdboden hinab, so wird der Blitz dadurch in die Erde geleitet. Leitende Körper von geringer Stärke werden durch den Blitz stark erhitzt. Telegraphendrähte u. dgl. schmelzen gewöhnlich ab; brennbare Gegenstände werden vom Blitze leicht entzündet, wenn schlechte Leiter den Gang desselben verzögern. Findet letzteres nicht statt, so zündet der Blitz gewöhnlich nicht (sogen. kalter Schlag). Sind gute Leiter von schlechten Leitern unterbrochen, so springt der Blitz von einem Gegenstande zum anderen über; die schlechten Leiter werden häufig dabei durchbohrt oder zertrümmert. In sandigem Boden schmelzen die Sandkörnchen durch den Blitz bisweilen zu Röhren (Blitzröhren) von einigen cm Durchmessern und mehreren Metern Länge zusammen. Die Luft, durch welche der Blitz schlägt, kann bedeutende mechanische Wirkungen ausüben, z. B. Gegenstände mit fortreifsen, Mauern verschieben u. s. w.

Entladet sich eine der Erde nahestehende el. Wolke plötzlich gegen eine höhere Wolke, so vereinigen sich die Elektricitäten, welche durch die nähere Wolke in den Gegenständen der Erdoberfläche verteilt waren, wieder: es entsteht ein el. **Rückschlag** (vgl. § 45). Dieser wirkt bei genügender Stärke im Körper der Menschen und Tiere ähnlich wie der Blitz selbst.

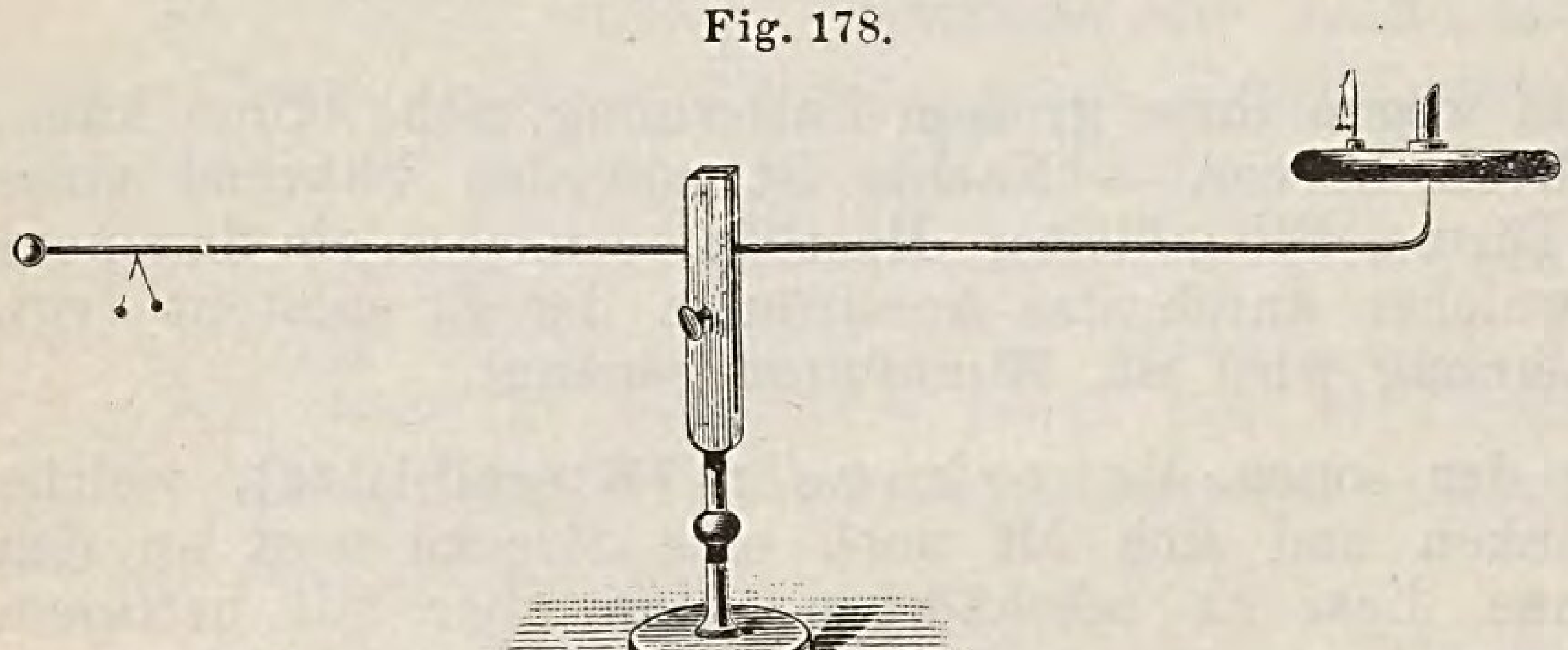
Um ein Gebäude vor dem Blitzschlage zu schützen, wendet man einen **Blitzableiter** an (Fig. 177). Derselbe besteht aus *einer auf dem Gebäude senkrecht befestigten Eisenstange, der sogen. Auffangstange, und einer am Gebäude hinabführenden eisernen oder kupfernen Leitung.* Die Auffangstange endigt oben in eine oder mehrere Spitzen, welche stark vergoldet oder mit einem Platinkegel (neuerdings Kohlenspitze) versehen sind, damit sie sich an der Luft nicht verändern. Die Leitung reicht vom unteren Ende der Auffangstange bis in das Grundwasser oder in ein Gewässer hinab. — Erfahrungsgemäfs hat der Schutzkreis eines Blitzableiters etwa die Länge der Auffangstange zum Halbmesser.

Fig. 177.



Die Wirkungsweise eines Blitzableiters läfst sich leicht dadurch veranschaulichen, dafs man nahe über die Spitze eines isolierten Kupferdrahtes (Fig. 178) etwa den + el. gemachten Deckel des Elektrophors hinwegführt. Ein am anderen Ende des Drahtes aufgehängtes Fadenpendel giebt dabei durch die abgestofsene, gleichnamige E. einen

Fig. 178.



Ausschlag. Wird der Draht ableitend berührt, so findet eine allmähliche Entladung des Deckels statt. Erklärung!

Die Wirkung eines Blitzableiters erklärt sich somit daraus, dafs die aus der Spitze desselben strömende E. sich mit der E. der Wolke langsam vereinigt, wodurch die Wolke allmählich entladen wird. Springt dennoch auf den Blitzableiter ein Funke über, so erfolgt dies, da der Blitzableiter mit der Erde in leitender Verbindung steht, ohne nachteilige Wirkung für das Gebäude.

In neuester Zeit stellt man Blitzableiter aus einem etwa 8 mm dicken Kupferdrahte oder einem aus 10—12 dünneren Kupferdrähten bestehenden Drahtseile her. Bei Anwendung von Eisen werden dickere Drähte benutzt. Zur Erhöhung des Schutzes soll der Blitzableiter mit dem Gebäude, sowie mit allen darin oder daran befindlichen gröfseren Metallmassen (eisernen Treppen, Dachrinnen, Gas- und Wasserleitungsröhren u. s. w.) leitend verbunden sein, damit alle während eines Gewitters im Gebäude angesammelte E. durch den Blitzableiter entfernt werden kann. Noch wichtiger ist die Erdleitung. Damit durch das weniger gut leitende Erdreich oder Grundwasser die E. genügend abgeleitet wird, mufs das untere Ende des Blitzableiters eine grofse Oberfläche haben (Verbindung mit einer mindestens $\frac{1}{2}$ qm grofsen Kupferplatte, einem starken Drahtnetz oder dergl.) Der Blitzableiter darf nirgends unterbrochen sein.

Der Blitzableiter ist eine Erfindung Franklins, welcher durch die von ihm entdeckte „Kraft der Spitzen" darauf geführt wurde, dieselbe der Menschheit nutzbar zu machen.

Vorsichtsmafsregeln. Befindet man sich während eines starken Gewitters aufserhalb des Hauses, so halte man sich nicht in der Nähe von alleinstehenden hohen Gegenständen (Bäumen, Telegraphenstangen u. dgl.) auf; ist das Gewitter sehr nahe, so bleibe man nicht in aufrechter Stellung. Im Zimmer halte man sich nicht in der Nähe von Metallmassen (Ofen, Kronleuchter u. dgl.) auf. Um bei etwaigem Einschlagen des Blitzes durch den starken Dunst nicht betäubt zu werden, welcher durch die Verwandlung des atm. Sauerstoffs in Ozon und die Verbindung von Stickstoff und Sauerstoff zu salpetriger Säure entsteht, öffne man Thür oder Fenster.

Das **Nordlicht** ist eine in den Polarländern fast jede Nacht vorkommende Erscheinung. Dasselbe bildet gewöhnlich einen Lichtbogen, welcher einen dunklen Kreisabschnitt des nördlichen Himmels umsäumt und in beständiger flackernder Bewegung ist. Vom Lichtbogen schiefsen in der Richtung der Radien des Kreises, welchem der Bogen angehört, nach allen Seiten glänzend gelbe, rote oder violette Strahlen, deren Gröfse und Gestalt beständig wechselt, mit grofser Geschwindigkeit empor. Das Auftreten der Nordlichter, welche sich unter Umständen über den ganzen Himmel ausdehnen, ist gewöhnlich von einer auffallenden Beunruhigung der Magnetnadeln begleitet (sogen. *magnetische Stürme*). In der Häufigkeit der Nordlicht-Erscheinungen hat man eine *Periode von 11½ Jahren* entdeckt, die mit der *Sonnenfleckenperiode* übereinstimmt. Das Nordlicht ist wahrscheinlich eine Wirkung el. Entladungen in den oberen Luftschichten.

Übungsstoff. 1. Wodurch hat die el. Spitzenwirkung eine sehr nützliche Anwendung erfahren? — 2. Die Spannung der E. des Konduktors der Elektrisiermaschine nimmt ab, wenn man einen beblätterten Zweig darauf befestigt, und zwar am meisten, wenn die Blätter stark behaart sind. Welche Bäume kommen hiernach in ihrer Wirkung dem Blitzableiter wohl am nächsten, und was lehrt die Erfahrung in dieser Hinsicht? — 3. Um seitliche Entladungen zu verhüten, sollen Blitzableiter, sowie die zur Befestigung dienenden Metallteile frei von Kanten und Ecken sein; w.? — 4. Warum mufs ein Eisendraht dicker sein als ein Kupferdraht, wenn er als

Blitzableiter dienen soll? — 5. Durch Blitzableiter, welche nicht bis in das Grundwasser oder irgend ein Gewässer hinabreichen, wird die Gefahr beim Gewitter erhöht; w.? — 6. Desgl., wenn die Spitze abgestumpft oder die Leitung irgendwo unterbrochen ist; w.? — 7. Man hört oft sagen, der Blitzableiter ziehe den Blitz an. Ist dies richtig? Grund! — 8. Die First eines Daches sei 18 m lang, wie hoch mindestens mufs dann die Auffangstange des Blitzableiters sein? — 9. Der menschliche K. leitet die E. besser als Holz und Gestein. Was ist daher wahrscheinlich, wenn jemand beim Gewitter unter einem Baume oder an einer Mauer Schutz sucht, und diese vom Blitze getroffen werden? — 10. Zweck der Metallspitze, der Hanfschnur, des Schlüssels und der Seidenschnur am Franklinschen Drachen? — 11. An den Ecken und Kanten von Metalldächern zeigt sich nachts bei starkem Gewitter bisweilen ein Lichtschein. Erkl.! — 12. Warum kann man nachts während des Blitzens nicht sehen, dafs ein Vogel fliegt, die Räder eines fahrenden Eisenbahnwagens sich drehen u. s. w.? — 13. Welchen Einflufs mufs es auf den el. Zustand niedrig stehender Gewitterwolken ausüben, wenn diese über hohe Rauchsäulen hinwegziehen? — 14. Man findet die Entfernung des nächsten Punktes der Blitzbahn, wenn man die Sekundenzahl, die zwischen Blitz und Donner vergeht, mit 340 multipliziert; w.? — 15. Wie weit ist ein Gewitter von uns entfernt, wenn zwischen Blitz und Donner 10 Sek. verstreichen?

VIII. Abschnitt.

Rückblick.

§ 50. Aufgabe der Physik. Um die **Naturerscheinungen**, d. h. die Veränderungen, welche die Körper erleiden, wenn sie der Einwirkung von Kräften ausgesetzt sind, genauer kennen zu lernen, verfährt man, wie aus allem bisher Angeführten hervorgeht, in zweifacher Weise. Entweder beobachtet man die Körper, während ihr Zustand sich ändert, in der Natur selbst, oder man stellt, um die Veränderungen leicht und sicher wahrnehmen zu können, Versuche an, d. h. man ruft die Erscheinungen absichtlich hervor. Wir machten dabei stets die Bemerkung, dafs die Erscheinungen nur unter gewissen Bedingungen eintraten.

Unter welchen Bedingungen zeigten sich z. B. die Erscheinungen, dafs ein Hebel belastet im Gleichgewicht ist, dafs ein Echo entsteht, dafs ein gerader Stab gebrochen aussieht, dafs das Quecksilber im Thermometer steigt oder fällt, dafs ein Stab von Eisen oder Stahl leicht bewegliche eiserne Gegenstände anzieht und festhält, dafs zwei Glas-, Hartgummi- oder Siegellack-Stäbe einander abstofsen?

Die Bedingungen aufzufinden, unter welchen eine Naturerscheinung eintritt, ist für alle Naturkenntnis von gröfster Wichtigkeit. Hat man den Zusammenhang jener Bedingungen erkannt, so sucht man einen kurzen sprachlichen oder mathematischen Ausdruck dafür, den man **Gesetz** oder, da sein Inhalt sich auf Naturerscheinungen bezieht, **Naturgesetz** nennt. So hat man z. B. als Gesetz für die Gleichgewichtsbedingung des Hebels gefunden, dafs die beiden veränderlichen Gröfsen, durch welche das Gleich-

gewicht des Hebels bestimmt wird, nämlich die Gröfse der auf den Hebel einwirkenden Kräfte und die Länge der Hebelarme dieser Kräfte, in der Weise voneinander abhängen, dafs die Kraft sich zur Last verhalten mufs, wie der Lastarm zum Kraftarm sich verhält. Man kann demnach sagen:

Unter **„Naturgesetz“** versteht man einen kurzen Ausdruck, welcher den Zusammenhang der Bedingungen angiebt, unter denen eine Naturerscheinung eintritt.

Ausdrücke, wie: Jeder Körper nimmt einen Raum ein (§ 2), oder: Alle Körper der Erde sind schwer (§ 4), werden, sofern sie in kurzen Worten eine allen oder doch vielen Körpern gemeinsame Erscheinung ausdrücken, auch wohl als *Gesetze* bezeichnet.

In allen Fällen strebt man danach, die Naturerscheinungen auf ihre Ursachen zurückzuführen. Oft stehen mehrere Erscheinungen in einem solchen Zusammenhange, dafs man die eine als die Ursache der anderen ansehen kann. Man kann z. B. sagen, die Spannung der Schnur des Lotes (Fig. 7) erkläre sich aus dem Zuge des aufgehängten Körpers, der Zug aus der Schwerkraft; die Erscheinung, welche die Messingkugel (Fig. 108) nach ihrer Erwärmung zeigte, erkläre sich aus der Ausdehnung der Kugel, die Ausdehnung aus der Aufnahme von Wärme u. s. w. Die Schwerkraft und die Wärme sind in diesen Fällen die letzten, nicht mehr wahrnehmbaren Ursachen, auf welche diese beiden Erscheinungen sich zurückführen lassen. Die sinnlich nicht mehr wahrnehmbaren Ursachen der Erscheinungen oder der Veränderungen, welche die Zustände der Körper erfahren, haben wir **Kräfte** genannt.

Eine Erscheinung auf ihre Ursache zurückführen, heifst die Erscheinung **erklären.**

Die Eigenschaften der Naturkörper sowie die Gesetze und Ursachen der Naturerscheinungen zu erforschen, ist die **Aufgabe der Naturlehre.**

Die Naturlehre zerfällt in **Physik** und **Chemie.** Die Chemie untersucht Erscheinungen, welchen eine Änderung des Stoffes zu Grunde liegt *(Wesensänderung)*, z. B. das Rosten des Eisens, das Verbrennen des Holzes u. s. w., die Physik dagegen Erscheinungen, welche ohne Änderung des Stoffes vor sich gehen *(Zustandsänderung)*. Da z. B. beim Schmelzen des Eises, beim Verdampfen des Wassers, beim Tönen einer Stimmgabel oder einer Saite, beim Magnetisieren von Eisen oder Stahl u. s. w. zwar der Zustand, in welchem der betreffende Körper sich befindet, eine Änderung erleidet, diejenigen Eigenschaften aber, welche den Stoff des Körpers kennzeichnen, sich nicht ändern, so gehören diese Erscheinungen in das Gebiet der Physik.

Übungsstoff. 1. Nenne Eigenschaften, welche a. allen, b. nur gewissen K. zukommen. — 2. Ferner Anziehungs- und Abstofsungskräfte. Erschn.! — 3. Wodurch läfst sich die Wirkung von Druck- und Zugkräften erhöhen? Gesetze! — 4. Wodurch unterscheidet sich der Druck fester K. vom Drucke der flüssigen und

luftförmigen K.? — 5. Führe Beispiele an über die Anwendung des Druckes von W. und Luft. — 6. Durch welche Art der Bewegung entsteht der Schall? — 7. Durch welches Organ können solche Bewegungen empfunden werden? — 8. Mit welcher Geschw. pflanzt sich diese Bewegung in der Luft fort? Echo? — 9. Wovon ist (nach § 22) die Höhe der Töne abhängig? — 10. Welche Vorgänge können eintreten, wenn K. von Lichtstrahlen getroffen werden? — 11. Gesetze über die Fortpflanzung und Richtungsänderung der Strahlen? — 12. Führe Erschn. dazu an. — 13. Welche Kräfte lassen sich durch Reibung eines K. erregen, und wie ist dies nachzuweisen? — 14. Was veranlafste die Annahme zweier Magnetismen und zweier Elektricitäten? — 15. Nenne Wirkungen a. der Wärme, b. des Magnetismus, c. der E. — 16. Welche Unterschiede traten hervor in Bezug auf die Leitung a. der Wärme, b. der E.? — 17. Entstehung von Bewegungserscheinungen, welche in Flgkn. und Luft durch Wärme hervorgerufen werden. — 18. Entstehung von atm. Niederschlägen! — 19. Instrumente zur Messung des Wärme- und des el. Zustandes eines K.! — 20. Vgl. die Spannung von Dämpfen mit der el. Spannung. — 21. Inwiefern ist bei E.s-Leitern die el. Spannung von der Gestalt der K. abhängig? — 22. Welches Mittels bedient man sich, um bei der Ansammlung von E. die Spannung der E. zu vermindern? Vorteil? — 23. El. Erschn. in der Atmosphäre? Entstehung! — 24. Erkläre die schützende Wirkung des Blitzableiters.

Zweite Lehrstufe.

I. Abschnitt.

Von den Körpern im allgemeinen.

(I. Lehrstufe, §§ 1—6.)

A. Allgemeine Eigenschaften der Körper.

§ 51. Porosität und Teilbarkeit. Aus unseren früheren Betrachtungen über die allgemeinen Eigenschaften der Körper ergab sich, 1. dafs jeder Körper einen Raum einnimmt, welcher nicht zugleich von einem anderen Körper eingenommen werden kann (**Ausdehnung** und **Undurchdringlichkeit**), 2. dafs weder ruhende noch bewegte Körper ihren Zustand selbst ändern können (**Trägheit** oder **Beharrungsvermögen**), 3. dafs alle Körper schwer sind (**Schwere**). Die Frage: ob der von einem Körper eingenommene Raum von dem Stoffe des Körpers ganz oder nur teilweise ausgefüllt wird, und andere derartige, die innere Beschaffenheit der Körper betreffende Fragen blieben damals unerörtert.

Sowohl die tägliche Erfahrung, wie auch geeignete Versuche lehren, dafs die Körper ihren Rauminhalt ändern, wenn *äufsere Kräfte* (Druck oder Zug) auf sie einwirken. Gewisse feste Körper, namentlich Metalle, lassen sich durch Hämmern, Pressen, Walzen u. dgl. so stark verdichten, dafs ihr specifisches Gewicht dadurch merklich erhöht wird (§ 17). Die Raumveränderung, welche Flüssigkeiten durch äufseren Druck erleiden, ist eine so geringe, dafs man bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts glaubte, sie seien überhaupt nicht zusammenprefsbar. Durch den Druck von 1 Atmosphäre, d. h. von 1 kg auf 1 qcm (§ 84a) wird Wasser z. B. nur um $\frac{1}{20000}$, Quecksilber um 3 Milliontel seines ursprünglichen Rauminhaltes zusammengeprefst. Am bedeutendsten ist die Raumveränderung, welche luftförmige Körper durch Zu- oder Abnahme des äufseren Druckes erleiden. — Welchen Einflufs übt die *Wärme* auf den Rauminhalt der Körper aus? (§ 31).

Aus der Veränderlichkeit des von einem Körper eingenommenen Raumes läfst sich schliefsen, dafs der Stoff den Raum der Körper nicht ganz ausfüllt, dafs also in allen Körpern Zwischenräume, Poren, enthalten sein müssen. Zahlreiche *Erfahrungen* bestätigen diese Annahme.

In manchen festen Körpern kann man die Poren schon mit blofsen Augen oder doch bei Anwendung eines Vergröfserungsglases erkennen (Beispiele!). Bei anderen Körpern läfst sich aus dem Eindringen von Flüssigkeiten schliefsen, dafs sie Poren enthalten. Thüren und Fenster quellen bei feuchter Luft, Pflaster- und Mauersteine sind nach anhaltendem Regenwetter noch längere Zeit feucht, aus Kreide steigen im Wasser Luftblasen auf u. s. w. Hohle und ganz mit Wasser gefüllte Metallkugeln überziehen sich mit feinem Tau, wenn sie einem bedeutenden Drucke ausgesetzt werden; dieselbe Erscheinung zeigen die eisernen Röhren hydraulischer Pressen (§ 79). Durch Holz läfst sich Quecksilber leicht hindurchpressen. Auch an flüssigen Körpern lassen sich, wie folgende Versuche zeigen, Erscheinungen wahrnehmen, welche das Vorhandensein von Poren beweisen.

***Versuch a.** Kehrt man eine 60—80 cm lange Glasröhre, welche man in ihrer unteren Hälfte mit Wasser, in der oberen mit Weingeist gefüllt und dann verschlossen hat, mehrmals um, sodafs die Flüssigkeiten sich mischen, so füllt die Mischung die Röhre nicht mehr ganz aus.

***Versuch b.** Schüttelt man in einem verschlossenen Gefäfse kaltes Wasser und Kohlensäure durcheinander, so dringt letztere zum Teil in das Wasser ein, was sich leicht zu erkennen giebt, wenn man das Gefäfs umgekehrt unter Wasser öffnet. (Aufsteigen des W. durch den Luftdruck.)

Dafs die Substanz der luftförmigen Körper sehr locker sein mufs, folgt sowohl aus der Leichtigkeit, mit welcher solche Körper sich im lufterfüllten Raume verbreiten (z. B. Wasserdampf und Leuchtgas in der atm. Luft), als namentlich aus der starken Raumveränderung, welche diese Körper durch Zu- oder Abnahme eines äufseren Druckes, wie auch durch Temperaturveränderung erleiden.

Der Raum, welchen die Körper einnehmen, wird von dem Stoffe, aus dem sie bestehen, nicht vollständig ausgefüllt; im Innern aller Körper sind Zwischenräume, Poren, vorhanden. **(Porosität.)**

Bem. Im gewöhnlichen Sprachgebrauch pflegt man nur diejenigen Körper porös zu nennen, deren Poren leicht zu erkennen sind, z. B. Schwamm, Bimsstein, Holz u s. w.

Eine andere Eigenschaft, welche allen Körpern zukommt, ist die **Teilbarkeit.** Feste Körper lassen sich zerschneiden, zerfeilen, zerreiben, zerschlagen u. s. w. Mit einem Flüssigkeitstropfen läfst sich eine Nadelspitze viele hundert mal benetzen. Eine sehr weitgehende Teilung zeigen riechende Stoffe beim Verflüchtigen. Ein Stück Moschus z. B. erfüllt ein ganzes Haus mit seinem Geruche, ohne dafs ein Gewichtsverlust nachweisbar ist. Eine sehr grofse Teilbarkeit zeigen auch manche Farbstoffe beim Auflösen in einer Flüssigkeit.

Versuch c. Giefst man einen Tropfen Anilinrot oder Fuchsin in ein Glas W. und mischt die Flüssigkeiten durch Umrühren, so erscheint das ganze W. gefärbt (1 gr Fuchsin färbt 1000 kg W. noch deutlich rot).

Diese und andere Erscheinungen geben deutlich zu erkennen, dafs die Körper sich in sehr kleine Teile zerlegen lassen. Wenngleich man

nun auch die Teilung der Körper sich beliebig weit fortgesetzt denken könnte, so ist man doch infolge gewisser Erscheinungen zu der Annahme gezwungen, dafs man bei fortgesetzter Teilung schliefslich Teilchen erhalten würde, welche durch äufsere Kräfte nicht weiter zerlegbar sind. Diese kleinsten, sinnlich nicht mehr wahrnehmbaren Teilchen, welche noch die charakteristischen Eigenschaften des geteilten Körpers besitzen, werden **Moleküle,**[1]) d. h. **Massenteilchen** genannt.

Der Stoff aller Körper besitzt die Eigenschaft der **Teilbarkeit**. Jeder Körper ist aus äufserst kleinen, durch äufsere Kräfte nicht weiter zerlegbaren Teilchen (Molekülen) zusammengesetzt.

Jeder Körper stellt hiernach ein Aggregat, d. h. ein aus kleinsten Teilchen zusammengefügtes Ganze dar. Dies ist der Grund, warum man die drei Zustände der K., nämlich den festen, flüssigen und luftförmigen Zustand, als Aggregatzustände bezeichnet (§ 1).

Die Veränderlichkeit des Rauminhaltes der Körper führt zu dem Schlusse, dafs die Moleküle eines Körpers sich nicht unmittelbar berühren.

Durch die Einwirkung gewisser Naturkräfte, deren Erforschung dem Gebiet der Chemie angehört, läfst sich die Teilung des Stoffes noch weiter fortsetzen. Leitet man z. B. den el. Strom durch Wasser, so entstehen aus diesem zwei luftförmige Körper, welche sich voneinander und vom Wasser wesentlich unterscheiden; der eine wird Wasserstoff, der andere Sauerstoff genannt. Beide Stoffe besitzen ganz andere Eigenschaften als das Wasser und lassen sich durch keine bekannte Naturkraft zerlegen. Derartige Erscheinungen haben zu der weiteren Annahme geführt, dafs die Moleküle der Körper chemisch noch weiter zerlegbar sind und Gruppen von Teilchen der einfachen Stoffe bilden. Diese kleinsten Stoffteilchen, welche sich auch chemisch nicht weiter zerlegen lassen, heifsen **Atome.**[2])

Die **Ausdehnung** und **Undurchdringlichkeit** werden, da ohne sie kein Körper gedacht werden kann, wesentliche, die **Trägheit, Schwere, Porosität** und **Teilbarkeit** dagegen unwesentliche oder zufällige allgemeine Eigenschaften genannt.

Übungsstoff. **1.** Welchen Einflufs mufs die Veränderung der Temp. eines K. auf das spec. Gew. desselben ausüben, u. w.? — **2.** In welchem Aggregatzustande tritt dieser Einflufs am wenigsten hervor? Grund! — **3.** Wie wird sich das spec. Gew. einer geprägten Goldmünze zu dem eines gegossenen goldenen Ringes verhalten, u. w.? (Gleiche Zusammensetzung vorausgesetzt.) — **4.** Bleche werden gewalzt. Einflufs auf den Rauminhalt und auf das spec. Gew.? — **5.** Bei welchen K. wird bei den Angaben des spec. Gew. auf Temp. und äufseren Druck besonders Rücksicht genommen werden müssen, u. w.? — **6.** Vgl. die festen und flüssigen K. miteinander hinsichtlich des Einflusses, welchen Temp. und Druck auf den Rauminhalt derselben ausüben. — **7.** Auf die Schwankungen des Luftdruckes wird bei genauer Angabe des spec. Gew. der festen und flüssigen K. keine Rücksicht genommen, wohl aber auf die Temp.; w.? — **8.** Welche allgemeine Eigenschaft der K. kommt beim Filtrieren zur Anwendung? — **9.** Wenn in glasierte Thongefäfse heifse Flüssigkeiten gegossen werden, so steigen oft aus kleinen Rissen zahlreiche Luftbläschen auf. Erkläre dies. — **10.** Welche bekannte Veränderung erleiden Pfeifenköpfe von Meerschaum oder Thon durch das Rauchen? Erkl.! — **11.** Welche Schlüsse folgen aus der bekannten Ersch., dafs einige Salz- oder Zuckerkörner ausreichen, den Geschmack eines ganzen Glases W. zu ändern? — **12.** Unter dem Mikroskop erscheint eine Flgk., welche durch natürliche Teilung eines lösbaren Stoffes gefärbt oder in ihrem Geschmacke verändert worden ist, selbst bei der stärksten Vergröfserung durchaus gleichartig. Schlüsse! — **13.** Inwiefern kann uns eine stark duftende Blume über

[1]) molecula, kleine Masse. — [2]) ἄτομος (átomos), unteilbar.

die Teilbarkeit des Stoffes belehren? (Blumenduft wird durch Verflüchtigung ätherischer Öle hervorgerufen.)

B. Wirkungen der Molekularkräfte.

§ 52. Kohäsion und Expansion. Nach der Annahme, dafs alle Körper aus kleinsten Teilchen zusammengesetzt sind, läfst sich der Unterschied zwischen den festen, flüssigen und luftförmigen Körpern auch in folgender Weise ausdrücken:

Fest heifsen Körper, deren Massenteilchen so innig zusammenhängen, dafs sie einer Verschiebung oder Trennung einen merklichen Widerstand entgegensetzen; flüssig solche, deren Teilchen nur einen so geringen Zusammenhang haben, dafs sie sich äufserst leicht verschieben und voneinander trennen lassen; luftförmig solche, deren Teilchen einen Zusammenhang kaum erkennen lassen, vielmehr das Bestreben äufsern, sich immer weiter voneinander zu entfernen.

Der Zusammenhang der Moleküle eines Körpers heifst **Kohäsion,**[1]) *die Erscheinung, dafs die Moleküle der luftförmigen Körper jeden ihnen dargebotenen Raum ausfüllen,* **Expansion.**[2])

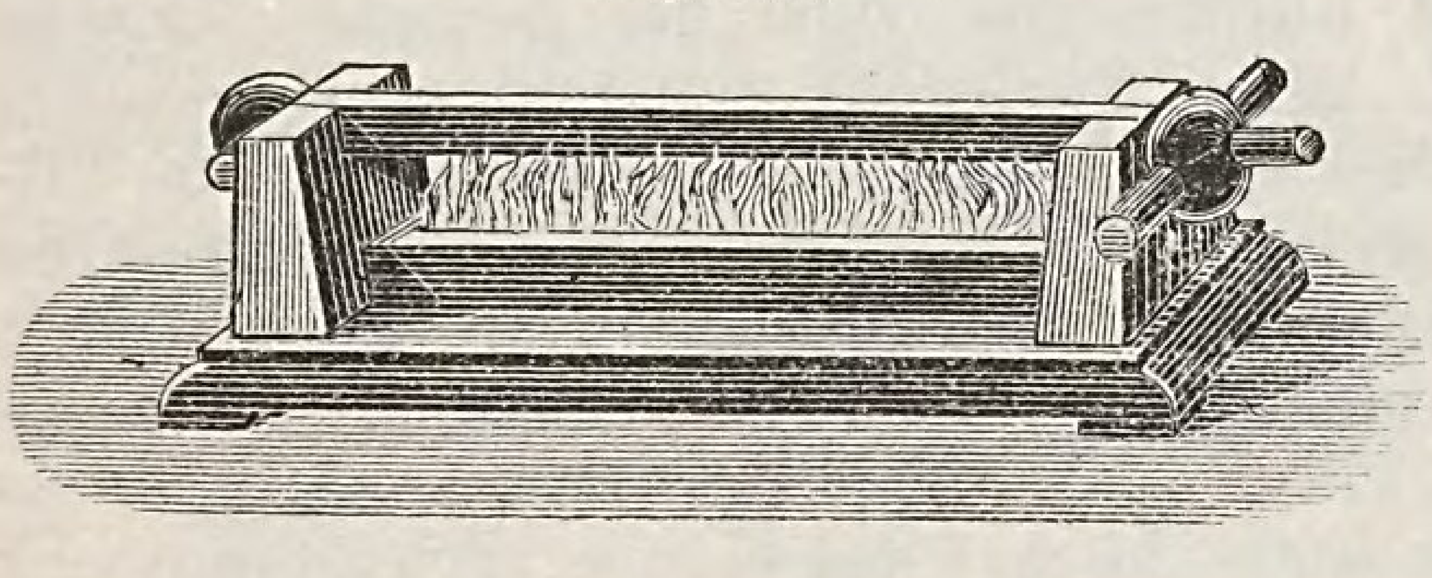
Die Ursachen der Kohäsion und Expansion erkennt man in anziehenden und abstofsenden Kräften, welche in unmefsbar kleinen Entfernungen zwischen den Molekülen der Körper wirksam sind: **Molekularkräfte.**

Bem. Die beiden Ausdrücke Kohäsion und Expansion werden auch für die Molekularkräfte (Kohäsionskraft und Expansivkraft) selbst gebraucht.

Gewisse Erscheinungen des täglichen Lebens lassen schliefsen, dafs die Stärke der Molekularkräfte sich mit der Temperatur der Körper ändert. Stark erhitzte Wasserdämpfe z. B. können Maschinen treiben, heftige Explosionen bewirken u. s. w.; eiserne Reifen vermögen, wenn sie glühend um geborstene Türme, Räder oder dergl. gelegt und dann abgekühlt werden, bei ihrer Zusammenziehung grofse Widerstände zu überwinden.

Versuch. Läfst man eine beinahe bis zum Glühen erhitzte Eisenstange, welche an ihren Enden mittelst eines starken gufseisernen Bolzens und einer Schraube in einem eisernen Gestell (Fig. 179) befestigt ist, genügend erkalten, so zieht sie sich so kräftig zusammen, dafs der Bolzen zerbricht.

Fig. 179.



Durch Wärme werden die anziehenden Molekularkräfte geschwächt, die abstofsenden verstärkt; Abkühlung bewirkt das Gegenteil.

1) cohaerēre, zusammenhängen. — 2) expandĕre, auseinandertreiben.

Je nachdem die anziehenden oder abstofsenden Kräfte im Innern eines Körpers überwiegen, ist der Körper fest oder luftförmig. Sind beide Kräfte nahezu im Gleichgewichte, so erscheint der Körper flüssig. Der Aggregatzustand eines Körpers ist demnach von dem Verhältnis abhängig, in welchem die Molekularkräfte hinsichtlich ihrer Stärke zu einander stehen.

Luftförmige Körper, welche bei der gewöhnlichen Temperatur und dem gewöhnlichen Drucke auch im flüssigen Zustande vorkommen, werden als **Dämpfe,** *die übrigen als* **Gase** *bezeichnet.* (Wasserdämpfe, dagegen Sauerstoff-, Wasserstoff- und Kohlensäuregas.)

Gase lassen sich wie Dämpfe durch sehr starke Abkühlung, wenn sie zugleich einem starken äufseren Drucke ausgesetzt werden, zu Flüssigkeiten verdichten. Durch einen Druck von mehreren hundert Atmosphären (ebensoviel kg auf 1 qcm) und eine Kälte von mehr als — 100° C ist es gegen Ende des Jahres 1877 gelungen, selbst diejenigen Gase, welche bis dahin für permanent („unbezwinglich") gehalten wurden, nämlich Wasserstoff und die Bestandteile der atm. Luft (Stickstoff und Sauerstoff), in Flüssigkeiten zu verwandeln.

Übungsstoff. 1. Vgl. Eis, W. und Wasserdampf hinsichtlich der Stärke der in denselben wirksamen Molekularkräfte miteinander. — 2. Was sollte man nach dem Verhältnis, in welchem die Molekularkräfte in Flgkn. zu einander stehen, in betreff der Zusammendrückbarkeit flüssiger K. eigentlich erwarten, u. w? — 3. Wodurch läfst sich das Verhältnis der Molekularkräfte in einem K. leicht ändern? (Beispiele!) — 4. Nenne ein Metall, in welchem bei gewöhnlicher Temp. die anziehenden und abstofsenden Molekularkräfte nahezu im Glgew. sind. — 5. Desgl. feste K., in denen die abstofsenden Molekularkräfte durch Erhitzung der K. plötzlich und sehr heftig wirken. Anwendung! — 6. Welches K. bedient man sich, um mittelst desselben durch Molekularkraft andauernd mechanische Arbeiten zu verrichten? — 7. Inwiefern kann man sagen, dafs die abstofsenden Molekularkräfte bei luftf. K. durch die ganze Masse, bei Flgkn. aber nur an der Oberfläche überwiegen? — 8. Wodurch kann man bewirken, dafs die abstofsenden Molekularkräfte bei einer Flgk. auch in deren Innerem überwiegen? — 9. Bei welchem sehr bekannten festen K. bewirken die abstofsenden Molekularkräfte leicht eine Verdunstung? — 10. Angenommen, der in Fig. 179 dargestellte Eisenstab lasse sich durch Belastung von 12 Ctr. um ebensoviel verlängern, als er sich bis zum Zerbrechen des Bolzens verkürzte; was würde daraus folgen? — 11. Die Anwendung der Molekularkraft zum Betriebe von Maschinen erfordert eine sorgfältige Überwachung derselben. Zu diesem Zwecke wird der Dampfkessel vor dem ersten Gebrauche der Maschine durch Wasserdruck mittelst Druckpumpe auf seine Stärke geprüft. (Sicherheitsventil.) a. Warum ist solche Vorsicht nötig? b. Wodurch können die im Dampfe wirkenden Kräfte in den vorgeschriebenen Grenzen gehalten (gleichsam gezügelt) werden?

§ 53. Verschiedenheit der Kohäsion fester Körper. Elasticität und Festigkeit. Vergleicht man die festen Körper miteinander in Bezug auf das Verhalten, das sie bei einer Verschiebung ihrer Teilchen äufsern, so ergeben sich wichtige Unterschiede. Während harte Körper, z. B. Eisen oder Stahl, äufsere Eindrücke schwer annehmen, lassen sich weiche Körper, wie Thon, Wachs oder dergl., leicht zusammendrücken. Spröde Körper, wie z. B. Glas und Siegellack von gewöhnlicher Temperatur, zerspringen leicht, wenn man sie biegt, während zähe Körper, wie stark erhitztes Glas, erwärmtes Siegellack u. dergl., leicht jede Veränderuug ihrer Gestalt erleiden, ohne den Zusammenhang zu verlieren. Besonders wichtig ist das Verhalten elastischer Körper, das z. B. bei gewundenen Stahldrähten, dünnen

Stahlstäben, sehr dünnen Glasfäden, Kautschuk u. dgl. sehr auffällig hervortritt, wenn man die Körper biegt oder streckt und dann wieder losläfst.

Die Kraft, mit welcher ein Körper nach einer durch äufsere Kräfte hervorgerufenen Änderung seiner Gestalt die ursprüngliche Gestalt wieder anzunehmen strebt, wird **Elasticität** *genannt.*

Je nachdem die Gestalt eines elastischen Körpers nach der Einwirkung der äufseren Kraft mit der ursprünglichen Gestalt desselben genau übereinstimmt oder nicht, heifst der Körper *vollkommen* oder *unvollkommen elastisch.* Die festen Körper sind nur innerhalb gewisser Grenzen (Elasticitätsgrenzen) vollkommen elastisch. Wird ihre Gestalt über diese Grenzen hinaus verändert, so kehren die Teilchen nicht wieder in die ursprüngliche Lage zurück; es erfolgt entweder eine bleibende Formveränderung oder eine plötzliche Trennung der Teilchen, indem der Körper zerreifst, zerbricht u. s w. Körper, welche ihre Elasticitätsgrenze schon nach einer geringen Gestaltsänderung erreichen und die veränderte Form beibehalten, wie z. B. Blei, heifsen *unelastisch.* — Flüssigkeiten und Gase nehmen nach einem auf sie ausgeübten Drucke ihren ursprünglichen Raum immer genau wieder ein und können daher als vollkommen elastisch bezeichnet werden.

Die Elasticität findet sowohl in der Natur, als im praktischen Leben wichtige Anwendungen. Da das Knochengerüst des menschlichen und tierischen Körpers (besonders im jugendlichen Alter) sehr elastisch ist, so werden Erschütterungen und Stöfse, welchen der Körper beim Laufen, Springen u. dgl. ausgesetzt ist, bedeutend abgeschwächt. Im praktischen Leben pflegt man zu demselben Zwecke Federn von Stahl anzuwenden, z. B. bei den zur Personenbeförderung dienenden Fuhrwerken, in den Polstern mancher Möbeln u. s. w. In Taschenuhren, Spieldosen u. dgl. benutzt man die Elasticität als bewegende Kraft, indem man eine gewundene Feder spannt und diese auf das Räderwerk einwirken läfst. Als Druckkraft wirkt die Elasticität z. B. in Thür- und Gewehrschlössern, an den Klappen mancher Blasinstrumente u. s. w. — Anwendung der Elasticität zur Bestimmung der Gewichtes der Körper, sowie zum Messen von Druck- und Zugkräften (Federwage, Dynamometer).

Für die Maschinen- und Bautechnik ist die genaue Kenntnis der Elasticitätsgrenzen der zu verwendenden Materialien ganz besonders wichtig (Bau von Eisenbahnbrücken u. dgl.), da dieselben niemals so stark belastet werden dürfen, dafs die Elasticitätsgrenze erreicht wird. Man unterscheidet in der Technik eine vierfache Art der Elasticität: Zug-, Druck-, Biegungs- und Drehungs- oder Torsions-Elasticität, je nachdem die Belastung den elastischen Körper in die Länge zu ziehen sucht oder ihn zusammenzudrücken, zu biegen oder zu drehen strebt.

Da die Kohäsion der Körper von der Temperatur derselben abhängig ist, so mufs eine Temperaturveränderung der Körper auch eine Änderung der durch die Kohäsion bedingten Eigenschaften zur Folge haben. Dies wird durch die Erfahrung bestätigt. Die härtesten Metalle erweichen im Feuer; Glas läfst sich, wenn es stark genug erhitzt ist, beliebig gestalten, während es bei gewöhnlicher Temperatur spröde ist u. s. w. Bei manchen Körpern, wie beim Stahl und dem Glase, bewirkt eine starke und schnelle Abkühlung eine bedeutende Härte und Sprödigkeit. Stählerne Werkzeuge erlangen auf diese Weise den zu ihrem Gebrauche nötigen Härtegrad. Die bekannten Glasthränen und die Bologneser Flaschen erhalten ihre merkwürdigen Eigenschaften durch schnelle Abkühlung der geschmolzenen Glasmasse in kaltem Wasser oder in der Luft. (*Versuch!)

Um Glaswaren mäfsig hart (möglichst haltbar) zu machen, bringt man sie unmittelbar nach ihrer Herstellung in sogen. Kühlöfen oder taucht sie in heifse Flüssigkeiten. Glasfäden (Glaswolle) und Spiralen von Glas sind aufserordentlich elastisch.

Den Widerstand, welchen ein fester Körper der Trennung seiner Teilchen entgegensetzt, bezeichnet man als Festigkeit. Je nach der Art dieses Widerstandes unterscheidet man eine vierfache Festigkeit und zwar nennt man den Widerstand gegen das Zerreifsen **Zug-** oder **absolute Festigkeit,** den Widerstand gegen das Zerbrechen **Bruch-** oder **relative Festigkeit**, den Widerstand gegen das Zerdrücken **Druck-** oder **rückwirkende Festigkeit** und den Widerstand gegen das Zerdrehen **Drehungs-** oder **Torsionsfestigkeit.**

Nach der Erfahrung ist die Festigkeit eines Körpers nicht allein von der Beschaffenheit seines Stoffes, sondern auch von seiner Form und Ausdehnung abhängig. In letzterer Beziehung sind folgende Sätze wichtig:

1. *Die Zugfestigkeit wächst wie der Querschnitt des Körpers.* Um z. B. einen Eisendraht zu zerreifsen, ist eine 2-, 3-, 4-... mal so grofse Kraft erforderlich, wenn der Querschnitt desselben 2-, 3-, 4-... mal gröfser genommen wird; die Länge ist ohne Einflufs auf die Zugfestigkeit.

2. *Die Bruchfestigkeit eines an beiden Enden unterstützten rechteckigen Balkens wächst ebenso wie die Breite, aber wie das Quadrat der Höhe des Querschnittes; sie steht ferner im umgekehrten Verhältnis zur Länge des Balkens.* Wird ein Balken z. B. 2-, 3-, 4-... mal so breit genommen, so kann er 2-, 3-, 4-... mal soviel tragen; wird er im Querschnitt aber 2-, 3-, 4-... mal so hoch genommen, so kann er 4-, 9-, 16- mal soviel tragen; bis 2-, 3-, 4- facher Länge kann er nur $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$ der vorigen Belastung tragen.

3. *Die Druckfestigkeit wächst wie der Querschnitt des Körpers, nimmt aber mit der Höhe ab.* Hohle Pfeiler und Säulen haben eine gröfsere Druckfestigkeit als massive, wenn beide aus demselben Stoffe bestehen und Höhe und Gewicht bei beiden gleich sind. Verhältnismäfsig hohe Körper biegen sich nach der Seite aus und zerbrechen dann.

4. *Die Torsionsfestigkeit ist von der Form der Körper abhängig und bei hohlen Körpern bedeutend gröfser als bei massiven.* Dieselbe mufs z. B. bei dem Bau von Radwellen berücksichtigt werden.

Übungsstoff. 1. Welche auf die Festigkeit und Elasticität bezüglichen Eigenschaften zeigt Glas bei gewöhnlicher und bei sehr hoher Temp., nach plötzlicher und nach allmählicher Abkühlung, bei gewöhnlicher Stärke und wenn es sehr dünne Fäden bildet? — 2. Vgl. Stahl und Blei, ferner Thon und Kautschuk hinsichtlich ihrer von der Kohäsion abhängigen Eigenschaften miteinander. — 3. Glas läfst sich mit einem Diamant, Eisen mit Glas, Kupfer mit Eisen und Blei mit Kupfer ritzen. Was folgt hieraus betreffs der Härte dieser K.? — 4. Es ist eine sehr wichtige Regel der Maschinen- und Bautechnik, elastische K., welche einem starken Drucke oder Zuge ausgesetzt sind, niemals bis zu ihrer Elasticitätsgrenze zu belasten; w.? — 5. Unterschied zwischen den Stöfsen beim Gehen auf Stelzen und auf den Füfsen? Erkl.! — 6. Warum sollen beim Springen die Zehen und nicht die Hacken den Boden zuerst berühren? — 7. Welche bekannte Ersch. zeigt sich, wenn man

kleine scheibenförmige Steine kräftig in sehr schräger Richtung auf Wasser wirft. Grund! — 8. An einem Baugerüste werde ein Stein hinaufgezogen. Ist die Gefahr, dafs das Seil zerreifst, anfangs gröfser, oder wenn der Stein nahezu oben ist (gleichmäfsige Beschaffenheit des Seiles vorausgesetzt)? Grund! — 9. Kreisflächen verhalten sich wie die Quadrate ihrer Durchmesser zu einander. Wievielmal schwerer zerreifst hiernach ein Eisendraht von 3 mm als ein anderer von 1,5 mm Dicke? — 10. Tragen gleichdicke Balken bei gleicher materiellen Beschaffenheit und gleicher Länge mehr, wenn ihr Querschnitt quadratisch oder wenn er rechteckig ist, u. w.? (Beispiel: Querschn. 576 qcm, Seiten 24 cm oder 18 und 32 cm.) — 11. Welche Form giebt man den Wagebalken, u. w.? — 12. Vorteile der **I** Form von Eisenbahnschienen und sogen. **T** Trägern, der Röhrenform von Eisenbahnbrücken, der hohlen Knochen und hohlen Halme der Gräser!

§ 54. Adhäsion. Kapillarität. Absorption.

1. Adhäsion. Dafs die Massenteilchen der Körper einander anziehen, giebt sich nicht nur durch den Zusammenhang der Teilchen eines und desselben festen und flüssigen Körpers zu erkennen, sondern auch dadurch, dafs verschiedene Körper bei gegenseitiger inniger Berührung aneinander haften. Eis z. B. haftet mit grofser Kraft an den Fensterscheiben, Siegellack haftet am Papier, Kreide an der Tafel, Staub an den Wänden, Tinte an der Feder, Wasser, Öl u. dgl. am Gefäfse u. s. w. Auch läfst sich ein derartiges Anhaften der Luft nachweisen.

Versuch a. Werden gewisse Pflanzenblätter (z. B. von Rosen, Erdbeeren, Kohl, Kapuzinerkresse) in Wasser getaucht, so bleiben sie (manche nur an der Unterseite) wegen der daran haftenden Luft unbenetzt und zeigen durch die vollständige Zurückwerfung der Lichtstrahlen einen silberähnlichen Glanz (§ 99). — Oder: Füllt man den einen Schenkel einer 2—3 mm weiten, U förmigen, inwendig trockenen Glasröhre vorsichtig mit Wasser, so steigt dieses im anderen Schenkel wegen der am Glase haftenden Luft nicht bis zu gleicher Höhe.

Die Erscheinung, dafs zwei Körper bei hinlänglicher Berührung aneinander haften, wird **Adhäsion** *oder* **Flächenanziehung** *genannt.*

Als Ursache der Adhäsion ist die zwischen den Massenteilchen der sich berührenden Körper wirksame Anziehungskraft anzusehen. Adhäsionserscheinungen kommen bei den Körpern aller Aggegratzustände vor.

Da die Adhäsion eine Molekularwirkung ist, so müfste sie z. B. bei gleichartigen festen Körpern ebenso grofs sein wie die Kohäsion. Dafs dies meist nicht der Fall ist, hat seinen Grund teils in den Unebenheiten der Oberflächen, teils darin, dafs eine Luftschicht auf den Körpern haftet, welche die innige Berührung verhindert. Wo diese Hindernisse beseitigt sind, da haften die Körper, mögen die Stoffe gleichartig oder verschieden sein, auch mit grofser Kraft aneinander. In der Natur haben z. B. die aus Gesteinstrümmern oder dergl. zusammengesetzten Felsarten, wie Konglomerate, Sandstein u. s. w., durch bedeutenden Druck ein festes Gefüge erlangt. Unter den Kunstprodukten finden bei Glasspiegeln, ferner bei allen vergoldeten, versilberten, verzinkten, vernickelten Gegenständen u. s. w. infolge der unmittelbaren Berührung der ungleichartigen Stoffe starke Adhäsionswirkungen statt (inwiefern?). — Von den Flüssigkeiten adhärieren diejenigen besonders stark, welche auf festen Körpern erhärten, wie Leim, Gummi u. dgl. Flüssigkeiten adhärieren auch aneinander, selbst wenn sie sich nicht mischen, wie man z. B. an der Ausbreitung von Öltropfen auf Wasser sieht. — Luftförmige Körper werden

durch Adhäsion auf der Oberfläche fester Körper verdichtet und an denselben so festgehalten, dafs es oft schwierig ist, eine derartige Gasschicht vollständig zu entfernen. Barometerröhren z. B. müssen, damit die inwendig am Glase haftende Luft ganz entweicht, mit Qu. gefüllt und darauf ausgekocht werden. Entfernt man von einer Fensterscheibe an einer Stelle die Lufthaut dadurch, dafs man mit den Fingerspitzen darüber streicht, so werden die Züge durch Behauchen sichtbar (Hauchbilder).

2. Kapillarität. Kommen Flüssigkeiten mit sehr porösen festen Körpern in Berührung, so dringen sie gewöhnlich in die Körper ein und verbreiten sich in denselben. Hierbei steigen sie auch über dem Flüssigkeitsspiegel in den Poren hinauf. (Beispiele!) Diese Erscheinung kann jedoch, wie folgender Versuch zeigt, nur dann eintreten, wenn die Flüssigkeit den Körper benetzt, die Adhäsion zwischen dem festen Körper und der Flüssigkeit also gröfser ist als die Kohäsion der Flüssigkeit.

Versuch b. Werden 2 ziemlich enge Glasröhren von verschiedener Weite (Fig. 180 und 181) in *Wasser* getaucht, so steht die Flüssigkeit in beiden Röhren höher als im Gefäfse und zwar am höchsten in der engeren Röhre, die Oberfläche der Flüssigkeit in der Röhre ist hohl oder konkav. Stellt man die Röhren in *Quecksilber*, so tritt das Umgekehrte ein: die Flüssigkeit steht in beiden Röhren tiefer als im Gefäfse und zwar am tiefsten in der engeren Röhre; die Oberfläche der Flüssigkeit in den Röhren ist erhaben oder konvex. Beim Herausheben der Röhren haftet das Wasser überall am Glase, während das Quecksilber nur an einzelnen Stellen in sehr kleinen Tropfen daran hängen bleibt. — Entgegengesetztes Verhalten von Wasser und Quecksilbertropfen auf Glas.

Fig. 180.

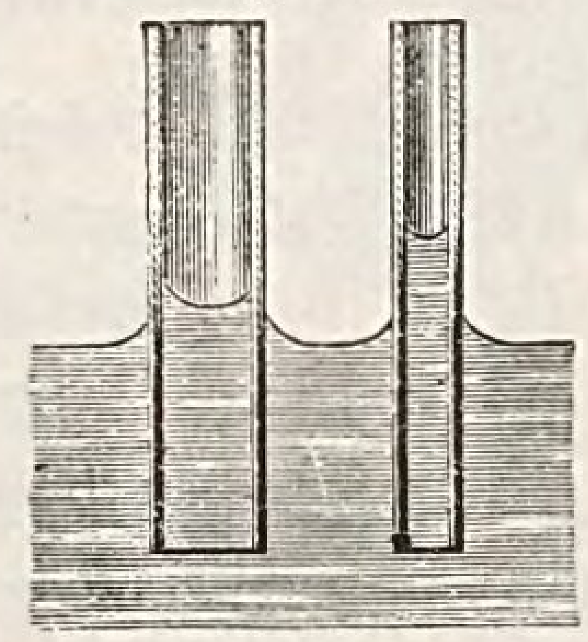
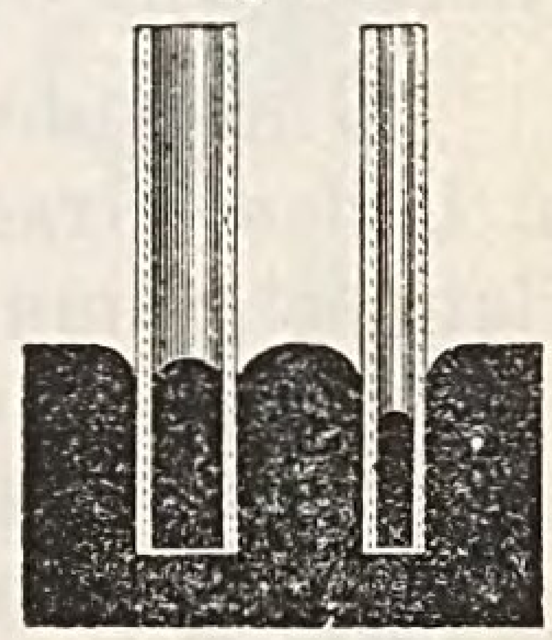


Fig. 181.



Diese Erscheinungen erklären sich daraus, dafs die Adhäsion zwischen Glas und Wasser gröfser ist als die Kohäsion des W., die Adhäsion zwischen Glas und Qu. hingegen kleiner ist als die Kohäsion des Qu.

Sehr enge Röhren werden Kapillarröhren[1]) *oder Haarröhrchen genannt.*

In einem Haarröhrchen steigt eine Flüssigkeit, welche das Röhrchen benetzt, um so höher hinauf, je enger das Röhrchen ist; findet eine Benetzung nicht statt, so steht die Flüssigkeit im eingetauchten Röhrchen um so tiefer unter dem Flüssigkeitsspiegel, je enger das Röhrchen ist: **Kapillaritätserscheinungen** oder **Haarröhrchenwirkungen.**

Wachs, Stearin, überhaupt Körper, deren Oberfläche fettig ist, werden vom Wasser nicht benetzt. Auf solchen Körpern bildet es in kleinen Mengen kugelförmige Tropfen, während es auf Glas, Holz u. s. w. auseinanderfliefst. Beim Quecksilber findet eine Benetzung nur dann statt, wenn es mit Gold, Silber, Zink, Kupfer oder einzelnen anderen Metallen in Berührung kommt; Platin, Eisen, Glas, Holz und die meisten anderen Körper werden nicht davon benetzt.

Haarröhrchen kommen in grofser Menge im Holz und Bast aller höheren Pflanzen vor. Im menschlichen und tierischen Körper verzweigen sich die Gefäfse zu

1) capilla, Haar.

immer feineren Haarröhrchen und sind eben dadurch z. B. für eine reichliche Zufuhr und Verteilung der Ernährungsflüssigkeiten im Körper ganz besonders geeignet. In Schwämmen, Zucker, Löschpapier, dem lockeren Boden u. s. w. bilden die engeren Zwischenräume gleichsam Netze von Haarröhrchen.

Eine nützliche Anwendung findet die Kapillarität im täglichen Leben namentlich durch das Aufsaugen des Öles in den Dochten unserer Lampen, ferner beim Gebrauche von Schwämmen, Handtüchern u. dgl., beim Waschen der Kleidungsstücke, beim Dichten der Fugen von zusammengetrocknetem hölzernen Waschgerät u. s. w. — Um Gebäude in nassen Lagen gegen das Eindringen der Bodenfeuchtigkeit zu schützen, wird das Mauerwerk des Fundamentes mit Asphalt bestrichen. Schutz der Aufsenwände durch Ölfarbe oder Wasserglas.

3. Absorption. Die molekulare Anziehung, welche feste wie flüssige Körper auf die mit ihnen in Berührung stehenden Gase ausüben, bewirkt nicht nur eine Verdichtung des Gases an der Oberfläche der anziehenden Körper, sondern auch ein Eindringen in das Innere derselben und eine Verdichtung des eingedrungenen Gases. Hierbei tritt oft eine merkliche Temperaturerhöhung ein.

Unter den festen Körpern besitzt frisch ausgeglühte Holzkohle in hohem Grade das Vermögen, Gase zu absorbieren oder aufzusaugen. Platinschwamm, d. h. feinporöses Platin, vermag Wasserstoff so heftig aufzusaugen und in seinem Innern zu verdichten, dafs derselbe sich dadurch entzündet (Wasserstoffzündmaschine). Flüssigkeiten saugen sehr leicht Gase auf. Wasser von gewöhnlicher Temperatur vermag ohne besonderen Druck einen gleichen Raumteil Kohlensäure zu verschlucken (Kohlensäuregehalt des Brunnenwassers); durch Anwendung eines starken Druckes läfst sich die Aufnahme bedeutend vergröfsern (künstliche Herstellung von kohlensäurehaltigen Getränken). Wasser, das lange mit der atm. Luft in Berührung ist, saugt aus derselben sowohl Stickstoff als auch besonders Sauerstoff ein, sodafs die im Wasser aufgelöste Luft ungefähr $\frac{1}{2}$ und nicht wie die atm. Luft $\frac{1}{4}$ soviel Sauerstoff als Stickstoff enthält.

Am gröfsten ist das Absorptionsvermögen des Wassers für Ammoniakgas, von welchem es bei 0° und dem Druck von einer Atmosphäre mehr als das 700fache seines eigenen Volumens zu verschlucken vermag.

Die Adhäsionserscheinung, dafs gasförmige Körper in die Poren fester und flüssiger Körper eindringen und hier festgehalten werden, wird Absorption[1]) *genannt.* Genaue Versuche lehren:

Die Menge des absorbierten Gases nimmt mit dem Drucke, welcher auf das Gas ausgeübt wird, zu und mit der Temperatur ab. Im übrigen ist die Absorption von der Beschaffenheit beider sich berührenden Körper abhängig.

Manche Körper, wie Kochsalz, Ackererde, Holz, Darmsaiten, entfettete Haare, konz. Schwefelsäure u. s. w., vermögen Wasserdämpfe aus der Luft leicht aufzusaugen, und werden deshalb hygroskopisch genannt.

Bem. Das Wort Absorption wird auch noch in weiterem Sinne gebraucht. Man sagt z. B., der Ackerboden absorbiere sowohl flüssige als luftförmige Nährstoffe der Pflanzen, ferner Kohle absorbiere im Wasser gelöste übel-

1) absorbēre, einsaugen, verschlucken.

riechende Stoffe, Farbstoffe u. dgl. Wegen dieser Eigenschaft wird Holzkohle zum Filtrieren von Trinkwasser, Knochenkohle zum Entfärben von Flüssigkeiten, zur Entkalkung von Zuckersäften in Zuckerfabriken u. s. w. benutzt.

Eine Aufsaugung gasförmiger Stoffe findet in den Körpern der lebenden Geschöpfe namentlich an allen denjenigen Oberflächen statt, welche mit der atm. Luft in unmittelbarer Berührung stehen, und deren Zellwände stark durchfeuchtet sind (Atmungsorgane). — Der von den Gewässern aus der Luft aufgenommene Sauerstoff ist den Kiementieren zur Atmung unentbehrlich. — Das in die Poren und Spalten der Gesteine eindringende Wasser nimmt Sauerstoff aus der Luft auf und bewirkt dadurch eine allmähliche Verwitterung selbst der härtesten Felsen. Im Ackerboden erlangt das Wasser durch die Aufsaugung von Kohlensäure ein gröfseres Vermögen, mineralische Bestandteile des Bodens aufzulösen und sie für die Pflanzenwurzeln zur Aufnahme geeignet zu machen.

Fig. 182.

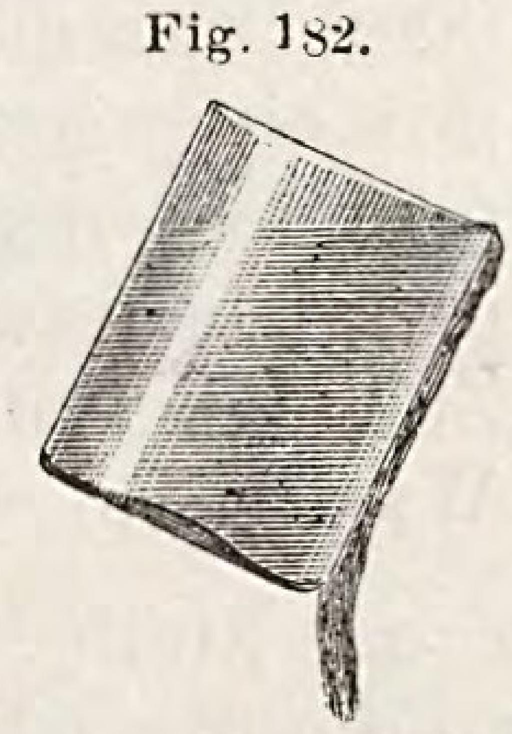
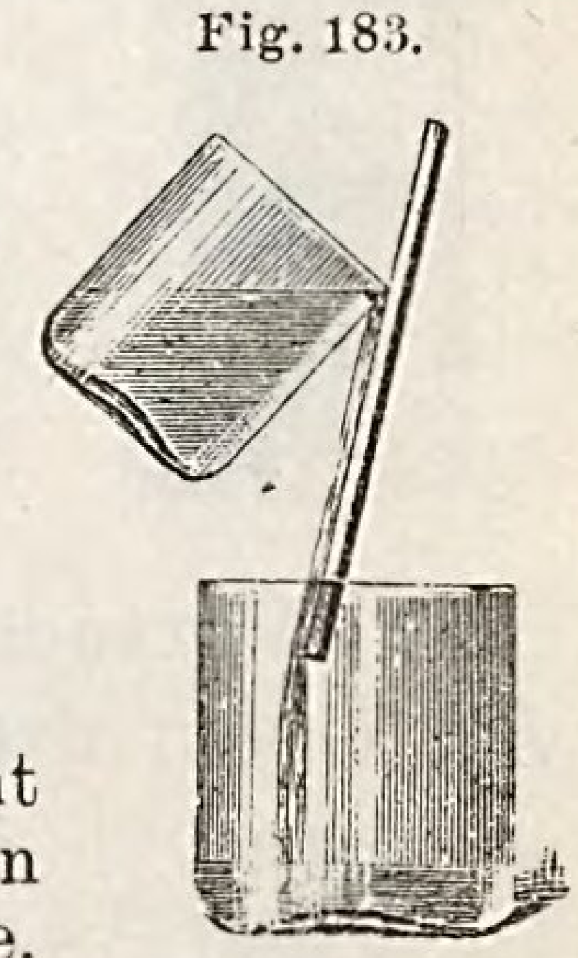


Fig. 183.



Übungsstoff. 1. Erkläre die in Fig. 182 dargestellte Ersch. — 2. Warum tritt diese Ersch. um so weniger ein, je schräger das Gefäfs gehalten wird? — 3. Erkläre die Wirkung von umgebogenen Gefäfsrändern und Tüllen. — 4. Desgl., dafs jene Ersch. bei wässerigen Flgkn. nicht leicht eintritt, wenn der Rand fettig ist. — 5. Beschreibung und Zweck des in Fig. 183 dargestellten Verfahrens! — 6. Warum werden Wasservögel nicht nafs? — 7. Goldene Ringe werden weifs, wenn sie mit Qu. in Berührung kommen. Erkl.! — 8. Qu.-Tropfen lassen sich aus den Ritzen eines Fufsbodens mit einem amalgamierten Zink- oder Kupferstreifen leicht aufsammeln; in welcher Weise? — 9. Führe Beispiele an, in denen von der Adhäsion Anwendung gemacht wird. — 10. Desgl. Fälle, in denen die Adhäsion belästigend wirkt. — 11. Warum müssen Wasserstandsröhren ziemlich weit sein, wenn sie den Flüssigkeitsstand richtig anzeigen sollen? — 12. Wenn man über den Rand eines mit W. gefüllten Gefäfses einen durchnäfsten Docht hängt, sodafs das eine Ende desselben ins W. eintaucht und das andere (äufsere) tiefer liegt als der Wasserspiegel, so fängt der Docht nach einiger Zeit an zu tropfen. Erkl.! — 13. Zeugleinen, Rouleauxschnüre u. dgl. sind bei feuchtem Wetter stärker gespannt. Erkl.! — 14. Wenn Papier mit Kleister bestrichen wird, so krümmt es sich. Nach welcher Seite? Erkl.! — 15. Zur Anfertigung bauchiger Fässer werden die Dauben auswendig angefeuchtet und innen erwärmt. Erkläre die Wirkung! — 16. Woraus kann man schliefsen, dafs W. Kohlensäure absorbiert? — 17. Das Eis enthält gewöhnlich zahlreiche Luftblasen. Auf welche Eigenschaften des W. läfst sich dies zurückführen? — 18. Worin mag es seinen Grund haben, dafs frisch ausgeglühte Kohle diese Eigenschaft in bedeutend höherem Grade besitzt als nicht ausgeglühte? — 19. Die auf Schiffen zur Aufbewahrung des Trinkwassers dienenden Fässer werden inwendig verkohlt; warum wohl?

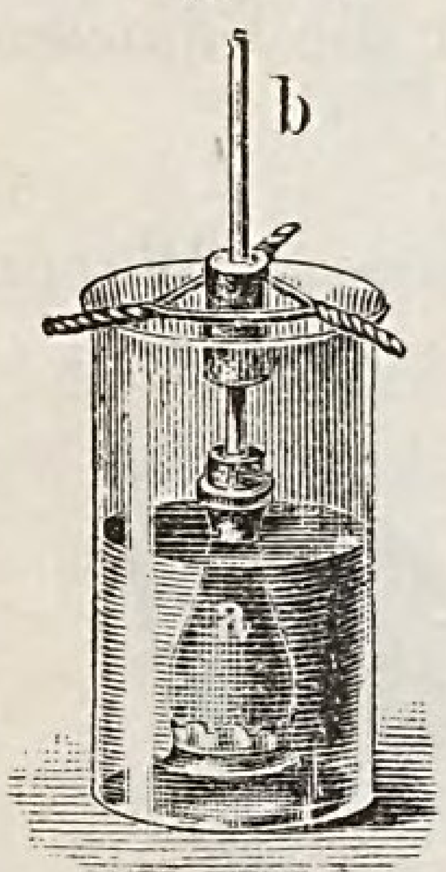
§ 55. Diffusion der Flüssigkeiten und Gase. Da die als Adhäsion bezeichnete Anziehung sowohl zwischen den Körpern verschiedener Aggregatzustände, als auch zwischen den Körpern eines und desselben Aggregatzustandes stattfindet, so bleiben noch die Adhäsions-Wirkungen zu betrachten übrig, welche zwei Flüssigkeiten und zwei Gase aufeinander ausüben.

Die tägliche Erfahrung lehrt, dafs gewisse Flüssigkeiten sich miteinander mischen lassen, andere nicht. Während z. B. Wasser und Weingeist oder Wasser und eine Kochsalzlösung nach und nach eine immer gleichmäfsigere Mischung bilden, ordnen sich Wasser und Öl nach ihren spec. Gewichten und bleiben dauernd getrennt. Im letzteren Falle ist bei jeder der beiden Flüssigkeiten die Kohäsion stärker, im ersteren schwä-

cher als die zwischen denselben wirksame Adhäsion. Erscheinungen der ersteren Art treten, wie folgende Versuche zeigen, auch ein, wenn die Flüssigkeiten sich nur berühren, ja sogar dann noch, wenn sie durch eine Scheidewand getrennt sind, welche beide Flüssigkeiten aufzusaugen vermag.

Versuch a. Giefst man in einen Glascylinder zunächst etwas Wasser, das mit Lackmuslösung blau gefärbt ist, und darauf etwa mit Hülfe einer ziemlich weiten Trichterröhre Salzsäure vorsichtig an den Boden des Gefäfses, so wird das specifisch leichtere Wasser gehoben und es tritt an der Berührungsstelle eine Rotfärbung ein, welche schon in kurzer Zeit merklich nach oben fortschreitet.

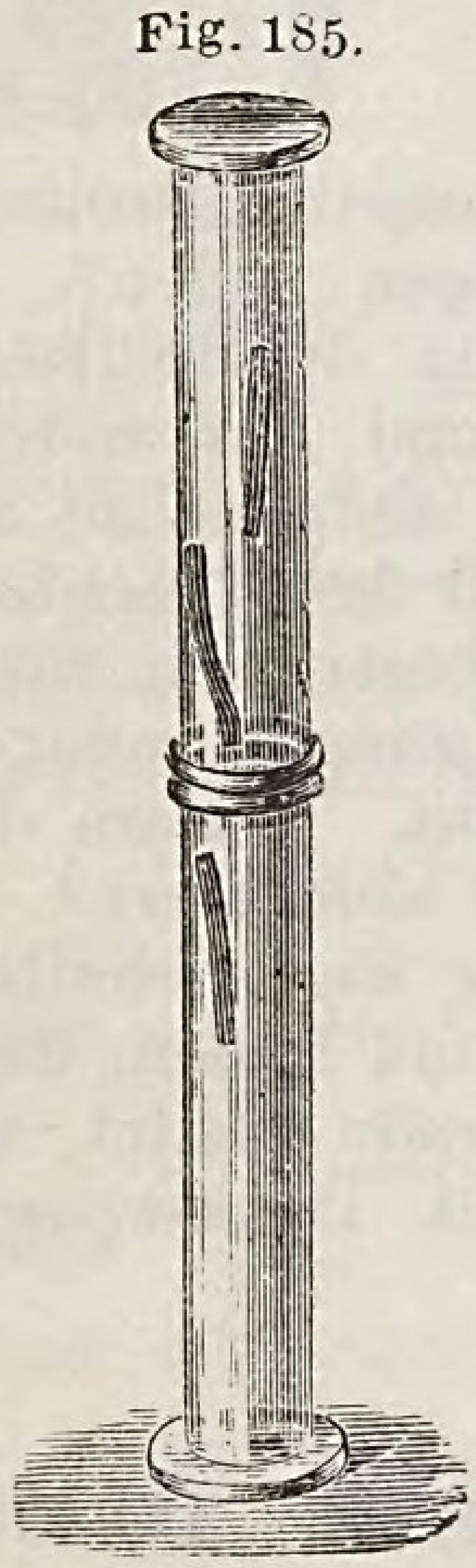
Fig. 184.



Versuch b. Ein kurzer Glascylinder oder eine sogen. Glaszelle (a, Fig. 184) werde am unteren Ende mit Tierblase oder Pergamentpapier sehr dicht verschlossen, darauf ganz mit einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol gefüllt und, nachdem man in der oberen Mündung eine Glasröhre luftdicht befestigt hat, in Wasser aufgehängt. Nach kurzer Zeit steigt die Flüssigkeit in der Röhre hinauf und das Wasser im Gefäfse fängt an sich bläulich zu färben.

*__Versuch c.__ Stellt man zwei gleichweite Glascylinder (Fig. 185), von denen der eine Kohlensäure, der andere atm. Luft und einige angefeuchtete Streifen von blauem Lackmuspapier enthält, so aufeinander, dafs die spec. schwerere Kohlensäure sich unten befindet, so mischen sich die Gase allmählich miteinander. Das Lackmuspapier färbt sich dabei rot und zwar schon in kurzer Zeit, wenn die Cylinder in offener Verbindung stehen, nach längerer Zeit, wenn sie etwa durch eine Gipsplatte oder durch Pergamentpapier oder Tierblase voneinander getrennt sind. — Enthält der obere Cylinder Wasserstoff, der untere atm. Luft, und ist an letzterem statt des Fufses eine mit gefärbtem W. gefüllte Manometerröhre (U förmige Glasröhre) befestigt, so erfolgt ebenfalls eine Mischung der Gase, welche durch das Aufsteigen der Flüssigkeit im äufseren Schenkel der Röhre angezeigt wird.

Fig. 185.



Wenn zwei mischbare Flüssigkeiten oder zwei Gase sich unmittelbar berühren, oder durch eine dünne poröse Wand von einander getrennt sind, so vermischen sie sich allmählich: **Diffusion**[1]) oder **Vermischung.**

Die Diffusion zweier durch eine poröse Scheidewand voneinander getrennten Flüssigkeiten wird mit dem besonderen Namen **Osmose**[2]) *bezeichnet.*

Wärme begünstigt die Diffusion der Flüssigkeiten. — Die Flüssigkeiten wie die Gase diffundieren mit verschiedener Geschwindigkeit. Durch eine organische Haut (Membran) diffundieren von den Flüssigkeiten diejenigen, welche Krystallform annehmen können, wie Wasser, Lösungen von Salzen,

[1]) diffundĕre, ausgiefsen. — [2]) ὠσμός (ōsmós), Stofs.

Zucker u. dgl. bedeutend schneller als die, welche nicht krystallisierbar sind und mit Wasser schleimige Massen bilden, z. B. Leim, Eiweifs, Gummi u. dgl. Hiervon macht man in der Zuckerfabrikation zur Gewinnung des Zuckers aus den Rüben praktischen Gebrauch. — Von den Gasen diffundiert Wasserstoff am schnellsten, atm. Luft diffundiert schneller als Kohlensäure, Stickstoff schneller als Sauerstoff.

In der Natur ist die Diffusion namentlich für die Vorgänge der Ernährung der Organismen von gröfster Bedeutung. Beim menschlichen und tierischen Körper gelangen die Nährflüssigkeiten durch Diffusion aus den Verdauungshöhlen in die Gefäfse und aus diesen in die Gewebe; bei den Pflanzen dringen die flüssigen Nährstoffe durch Diffusion von aufsen in die Wurzeln, die luftförmigen Nährstoffe (Kohlensäure) aus den mit der freien Luft in offener Verbindung stehenden inneren Hohlräumen (Intercellularräume der Blätter), nachdem sie zunächst von der Feuchtigkeit der Zellwände absorbiert worden sind, in das Innere der Zellen. In ähnlicher Weise vollzieht sich auch der als Atmung bezeichnete Gasaustausch (Ausscheidung von Kohlensäure und Aufnahme von Sauerstoff) bei allen lebendigen Geschöpfen. Infolge von Diffusion ist der Gehalt der atmosphärischen Luft an Sauerstoff und Stickstoff (den beiden Gasen, aus welchen die atm. Luft zusammengesetzt ist) überall derselbe, nämlich 21% Sauerstoff und 79% Stickstoff. Die durch Atmung oder Verbrennung entstehenden Ungleichheiten gleichen sich allmählich wieder aus; die Winde und die Erwärmung der Luft durch die Sonne befördern diesen Ausgleich.

Übungsstoff. 1. Worin stimmen Kapillarität, Absorption und Diffusion überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — 2. In allen höheren Pflanzen kommen zahlreiche Kapillarröhrchen vor, welche von Zellen umgeben sind. Wie läfst sich hiernach die Ersch. erklären, dafs abgeschnittene Pflanzenteile (Blumen und beblätterte Zweige) sich lange frisch erhalten, wenn man sie in W. stellt, während sie sonst rasch welken? — 3. Welche von den beiden bei Versuch b angewandten Flgkn. diffundierte am schnellsten, und woraus war dies zu schliefsen? — 4. Bis zu welchem Zustande zweier Flgkn. kann die Diffusionsströmung sich fortsetzen? — 5. Um die Zuckersäfte aus den Rüben zu gewinnen, werden letztere zerschnitten und mit W. übergossen; letzteres wird mehrmals wiederholt. Welchen Vorteil bietet das Zerschneiden der Rüben? Warum ist es vorteilhafter, das W. öfters zu erneuern, als die ursprüngliche Wassermenge längere Zeit einwirken zu lassen? — 6. Wird ein in Scheiben zerschnittener Rettig mit Kochsalz bestreut, so „zieht er Wasser", d. h. die Scheibenflächen werden feuchter, als sie vorher waren. Worin mag dies seinen Grund haben? — 7. Warum ändert W., in welchem längere Zeit Erbsen, Bohnen oder dergl. gelegen haben, namentlich bei höherer Temp. seinen Geschmack? — 8. In Weingeist schrumpfen weiche tierische Gewebe stark zusammen. Erkl.! — 9. Warum wurde bei Versuch c der Cylinder, welcher Kohlensäure enthielt, unter, der Wasserstoff enthaltende Cylinder dagegen über den mit Luft erfüllten Cylinder gestellt? — 10. Welchen Nachteil bringt die Diffusion bei der Füllung eines Luftballons mit Wasserstoff und warum ist bei der Füllung mit Leuchtgas dieser Nachteil nicht in demselben Grade vorhanden?

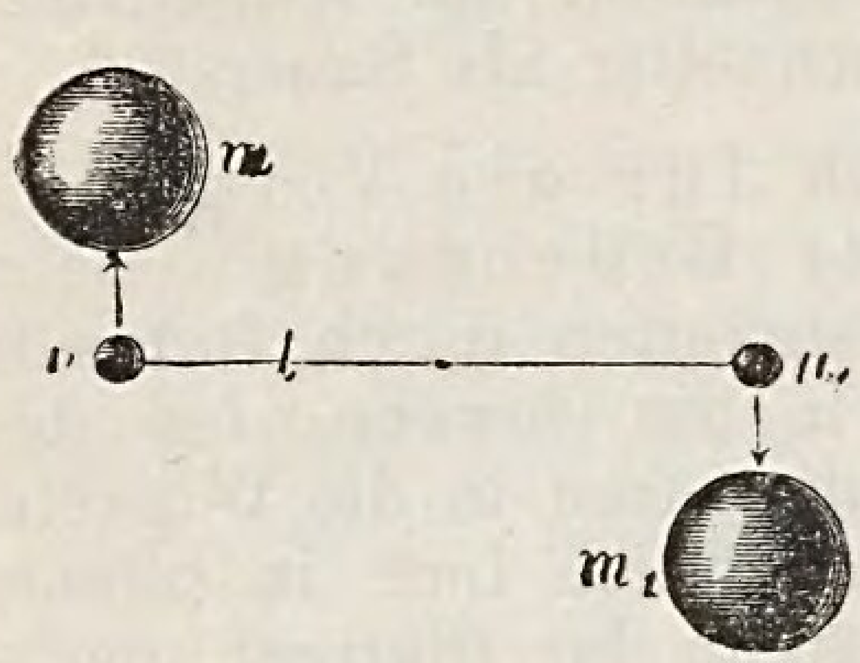
C. Allgemeine Massenanziehung oder Gravitation.

§ 56. Die früher besprochenen Erscheinungen der Schwere (§§ 4 und 6: Druck, Zug, freier Fall) können als die bekanntesten Äufserungen einer Anziehungskraft angesehen werden, welche zwischen den Massen aller im Weltraume vorhandenen Körper wirksam ist, und von welcher die als Schwerkraft bezeichnete Anziehungskraft der Erde nur einen besonderen Fall bildet.

Dafs zwischen den Körpern der Erde eine solche Kraft wirkt, hat man aus verschiedenen Versuchen geschlossen. Ein in der Nähe eines freistehenden Berges aufgehängtes Lot hängt nach der Seite des Berges

hin etwas schräg, wie man wiederholt durch Versuche nachgewiesen hat (zum ersten Male 1738 am Chimborazo, dann 1774 am Shehallien in Schottland und später noch an verschiedenen anderen dazu geeigneten Bergen). Ferner haben mit grofser Sorgfalt angestellte Versuche ergeben, dafs ein sehr empfindliches Horizontalpendel (sogen. Drehwage, *l* Fig. 186) aus seiner Gleichgewichtslage merklich gedreht wird, wenn man jedem Kügelchen des Pendels eine mehrere Centner schwere Bleikugel (m und m_1) sehr nahe bringt. Aus diesen Versuchen, die auch mit anderen Stoffen (Glas, Elfenbein u. s. w.) wiederholt wurden, mufs man schliefsen, dafs eine Anziehung zwischen allen Körpern der Erde vorhanden und dafs diese eine gegenseitige ist; wenn man von dieser Anziehung in den meisten Fällen nichts wahrnimmt, so ist dies darin begründet, dafs sie zu gering ist, um die Bewegungshindernisse zu überwinden. *Die* **Schwerkraft** *ist nur ein besonderer Fall dieser allgemeinen Massenanziehung,* der fallende Stein wird von der Erde angezogen, ebenso wie das Lot der Anziehung des Berges und das Kügelchen der Drehwage der Anziehung der verhältnismäfsig grofsen Gewichte folgt. *Die Anziehung zwischen der Erde und den irdischen Körpern ist eine gegenseitige und der Erdmittelpunkt nur scheinbar der Sitz der Schwerkraft,* da eine Kugel von gleichmäfsiger Dichte einen aufserhalb derselben befindlichen Körper ebenso anzieht, als ob ihre ganze Masse in ihrem Mittelpunkte vereinigt wäre.

Fig. 186.



Schon etwa 100 Jahre früher, ehe diese gegenseitige Anziehung für die Körper der Erde nachgewiesen wurde, war durch astronomische Berechnungen von Newton (1682) der Beweis geführt worden, dafs die Himmelskörper sich gegenseitig anziehen Nachdem es Newton gelungen war, die Bewegung der Planeten aus der Annahme einer mit dem Quadrate der Entfernung abnehmenden Anziehung zwischen Sonne und Planeten zu erklären, fand er ferner, dafs es ein und dieselbe Kraft ist, welche den fallenden Stein zur Erde zieht, den Mond in seiner Bahn erhält und überhaupt die Bewegungen der Himmelskörper im Weltenraume regelt (§ 75).

Alle Körper ziehen einander an. Die Anziehungskräfte verhalten sich geradeso wie die anziehenden Massen und umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen: **Newtons Gravitationsgesetz.**[1])

In Zeichen: $P : P_1 = M : M_1$, wenn die Entfernungen (E und E_1) gleich sind,
$P : P_1 = E^2_1 : E^2$, „ „ Massen (M und M_1) „ „

Beispiel: Die Anziehung ist 2-, 3-, 4-... mal so grofs, wenn die Masse bei gleichen Entfernungen das 2-, 3-, 4-... fache beträgt, aber nur $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$... so grofs, wenn die Entfernung bei gleichen Massen 2-, 3-, 4-... mal so grofs ist.

Dafs wir trotz der **gegenseitigen** Anziehung beim freien Falle, z. B. eines Steines, nur eine Bewegung des Steines gegen die Erde, nicht aber eine Bewegung der Erde gegen den Stein hin wahrnehmen, findet seine Erklärung in den ungleichen Massen der beiden Körper. Die Bewegung

[1]) grăvitas, die Schwere.

der Erde ist sovielmal kleiner als die des Steines, als ihre Masse gröfser ist, d. h. also: sie ist so gut wie gar nicht vorhanden.

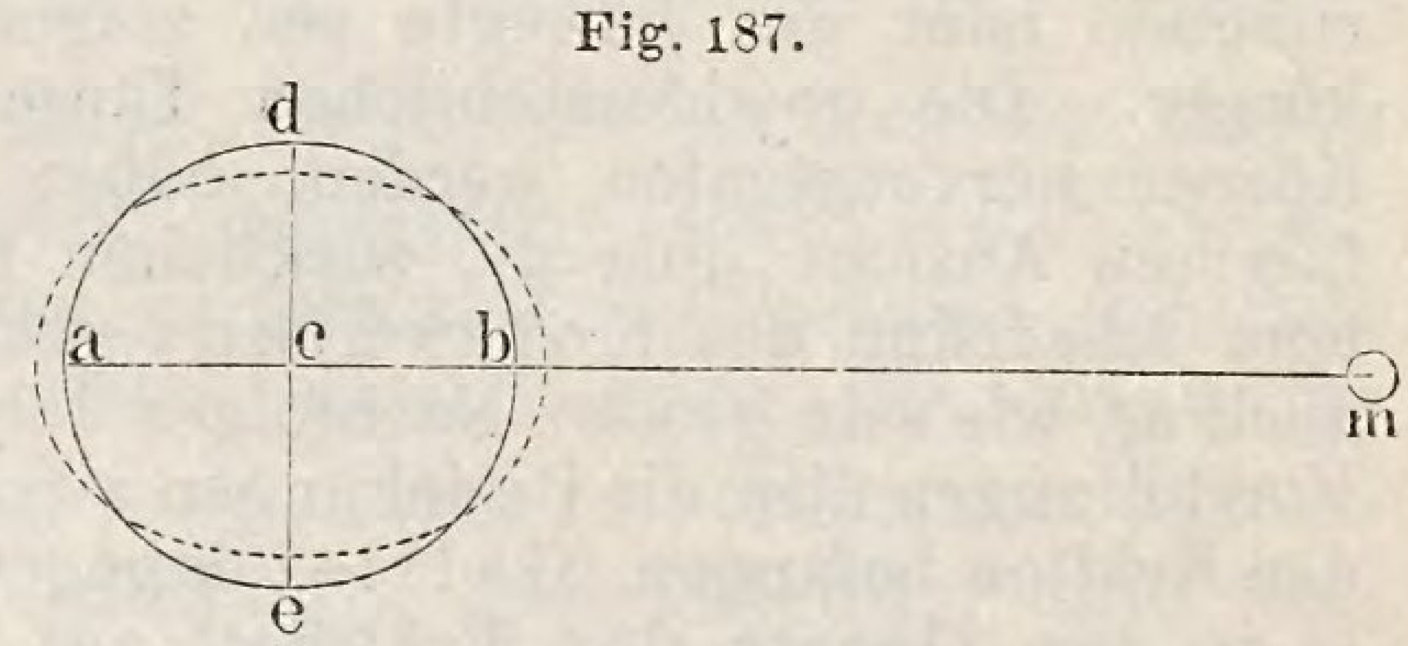
Die Wirkung der Schwerkraft nimmt von den Polen nach dem Äquator hin ab. Dies hat seinen Grund teils darin, dafs die Erde an den Polen abgeplattet ist, teils in dem Einflusse der Centrifugalkraft der Erde (§ 76). Die Feder einer sehr empfindlichen Federwage würde demnach durch denselben Körper in der Nähe der Pole stärker zusammengedrückt werden als in den Äquatorgegenden. (Dieser Gewichtsunterschied beträgt für 1 kg ungefähr 5 g; der Radius des Poles ist nahezu um $\frac{1}{299}$ kleiner als der des Äquators.) Auch von der Oberfläche der Erde nach dem Innern hin mufs die Schwere abnehmen.

Masse und Gewicht. Nach der Annahme, dafs alle Körper aus kleinsten Teilchen zusammengesetzt sind, ist das Gewicht eines Körpers gleich der Summe der Druck- oder Zugwirkungen aller Massenteilchen desselben. Ist der Stoff zweier Körper verschieden, so hat bei gleicher Anzahl der Massenteilchen derjenige Körper das geringste Gewicht, dessen Massenteilchen am leichtesten sind. Die Massen zweier Körper können somit nach dem Gewichte derselben miteinander verglichen werden; Masse und Gewichte sind einander proportional. — Die Zahlen, welche das Gewicht der Raumeinheit, also das spec. Gewicht der Körper ausdrücken, sind hiernach zugleich der Ausdruck für die Masse der Raumeinheit oder die Dichte der Körper.

Mit Hilfe der oben genannten Drehwage (Fig. 186) ist es nach den sehr genauen Versuchen, die von Cavendish (1797), Reich (1835) und anderen angestellt worden sind, möglich gewesen, die **Dichte der Erde** zu berechnen. Es ergab sich die Zahl 5,6 . ., die der Dichte des Magneteisens sehr nahe kommt, woraus geschlossen werden mufs, dafs das Erdinnere aus erheblich schwereren Gesteinen besteht, als die Erdoberfläche.

Übungsstoff. 1. Woraus folgt, dafs Rauminhalt und Gew. der K. streng genommen veränderliche Gröfsen sind? — 2. Ein und derselbe K. werde an Orten, welche auf derselben Erdhälfte von Norden nach Süden sehr weit auseinanderliegen, in Meereshöhe gewogen a. mittelst einer Hebelwage, b. mittelst einer Federwage. Beide Wagen seien äufserst empfindlich. Ergebnis? Grund! — 3. Am Boden eines tiefen Schachtes wird ein K. offenbar von einem Teile der Erdmasse nach dem Erdmittelpunkte, von dem übrigen Teile in entgegengesetzter Richtung angezogen. Einflufs a. auf das Gew. des K., b. auf den Gang einer in derselben Tiefe aufgehängten Pendeluhr. — 4. Im Mittelpunkte der Erde mufs jeder K. gewichtslos erscheinen; warum wohl? — 5. Welches Gew. würde ein K., der an der Erdoberfläche 1 kg wiegt, an einem Punkte haben, welcher a. um die einfache, b. um die doppelte Länge des Erdradius von der Erde entfernt ist? — 6. Die Masse des Mondes beträgt etwa $\frac{1}{80}$ der Erdmasse. Wie grofs ist darnach die Schwerkraft des Mondes im Vergleich zur Schwerkraft der Erde in einem Punkte, der vom Centrum des Mondes um die Länge des Erdradius entfernt ist? — 7. Wie grofs ist dieselbe an der Oberfläche des Mondes, wenn der Monddurchmesser $\frac{3}{11}$ des Erddurchmessers beträgt? — 8. Wie grofs ist die Schwerkraft an der Oberfläche der Sonne im Verhältnis zur Schwerkraft der Erde, wenn die Masse der Sonne ungefähr 350000mal so grofs ist als die der Erde und der Halbmesser der Sonne zu 112 Erdhalbmessern angenommen wird? — 9. Wie schwer würde hiernach ein K. von 1 kg Gew. auf einer Federwage erscheinen müssen, wenn statt der Erdanziehung eine Kraft wirkte, welche a. der Schwerkraft des Mondes, b. der Schwerkraft der Sonne gleich wäre? – 10. Die Ebbe und Flut, d. h. das täglich zweimal eintretende Fallen und Steigen des Meeres, hängt hauptsächlich von der Stellung ab, welche der Mond gegen einen Ort der Erde einnimmt (Fig. 187). Es tritt an einem

Fig. 187.



Orte im Weltmeere Flut ein, wenn der Mond seine höchste Stellung für den Ort eingenommen hat, und wenn er sich (12 St. 25 Min. später) auf der gerade entgegengesetzten Seite der Erde befindet, Ebbe dagegen, wenn der Mond auf- oder untergeht. Versuche dies zu erklären. — **11.** Die Entfernungen des Mondes von der Erde sind verschieden. Welchen Einflufs mufs dies auf die Höhe der Flut ausüben, u. w.? — **12.** Stehen Sonne und Mond an derselben oder an entgegengesetzten Seiten der Erde, so ist die Flut am gröfsten. Erkl.! — **13.** Wie müssen sich die im Winter, wenn die Sonne uns näher ist, zur Zeit des Voll- und Neumondes entstehenden Fluten zu den Fluten verhalten, welche im Sommer entstehen, wenn die Sonne weiter untfernt ist? Grund! — **14.** Wie mag es sich erklären, dafs z. B. in der Nordsee die Fluten bedeutend später eintreffen, als man nach der Zeit ihrer Entstehung in der offenen See und nach der anfänglichen Geschw. ihres Fortschreitens (ungefähr 120 geogr. Meilen in einer Stunde) erwarten sollte?

II. Abschnitt.

Mechanik.

(I. Lehrstufe, §§ 7—21.)

A. Von den festen Körpern.

a. Bewegungen und Kräfte im allgemeinen.

§ 57. Ruhe und Bewegung. Arten der Bewegung. Geschwindigkeit. Beschleunigung. Nach unseren Beobachtungen befinden sich die Körper im Zustande der **Ruhe,** d. h. *sie ändern ihre Lage im Raume nicht,* oder im Zustande der **Bewegung,** d. h. *wir nehmen eine Veränderung ihrer Lage wahr.* Bei der Beurteilung, ob ein Körper sich im Zustande der Ruhe oder der Bewegung befindet, beziehen wir die Lage des Körpers auf seine Umgebung. Hierbei sind wir mancherlei Täuschungen ausgesetzt. So erscheint uns z. B. ein Gebäude gewöhnlich in Ruhe, obgleich es an der Umdrehung der Erde um ihre Achse, wie auch an der Bewegung der Erde um die Sonne teilnimmt; fahren wir in einem Eisenbahnzuge sehr schnell daran vorüber, so scheint es sich zu bewegen (relative Ruhe und Bewegung).

Wie schwer es in manchen Fällen ist, zu einer richtigen Erkenntnis darüber zu gelangen, welcher von zwei Körpern, die ihre gegenseitige Lage ändern, der ruhende oder der bewegte sei, zeigen namentlich die Bewegungen der Himmelskörper. Die unwiderstehlichen Täuschungen, welche bei der Beobachtung dieser Körper hervorgerufen werden, haben die Menschheit Jahrtausende lang in einer falschen Ansicht über die wirklichen Bewegungsvorgänge derselben erhalten. Erst dem Scharfsinn des Kopernikus gelang es, diese Täuschungen nachzuweisen; aber auch er, wie sein grofser Nachfolger Johann Kepler waren teilweise noch in falschen Vorstellungen über die Beziehungen zwischen den Bewegungen und den sie verursachenden Kräften befangen. Galilei dagegen erkannte dieses Verhältnis richtig und sprach es in dem **Gesetz der Trägheit** aus (vergl. § 3). Nach diesem haben wir nicht in der unveränderten Fortdauer, sondern gerade in der Veränderung

einer schon bestehenden Bewegung oder in der Entstehung einer neuen die Wirkung einer Kraft zu erkennen.

Die Bahn des bewegten Körpers, d. h. der Weg, welchen der Körper bei seiner Bewegung zurücklegt, ist geradlinig oder krummlinig; die Bewegung selbst kann eine fortschreitende oder drehende sein. Mit Bezug auf die in gleichen Zeiten durchlaufenen Strecken läfst sich eine gleichförmige und eine ungleichförmige Bewegung unterscheiden.

1. Gleichförmige Bewegung. *Legt ein Körper in gleichen aufeinander folgenden Zeitteilchen, so klein dieselben auch sein mögen, immer gleiche Wege zurück, so wird seine Bewegung gleichförmig genannt.* (Beispiel: Die Bewegung eines Eisenbahnzuges ist auf ebener Strecke einige Zeit nach der Abfahrt annähernd gleichförmig.)

Als vollkommen gleichförmig kann die Bewegung angesehen werden, welche die Erde ausführt, indem sie sich um ihre Achse dreht. Die sichtbaren Bewegungen der Körper auf der Erde weichen mehr oder weniger von der Gleichförmigkeit ab.

Die Gröfse oder Stärke einer Bewegung wird durch die **Geschwindigkeit** gemessen, mit der ein Körper sich bewegt, d. h. durch den *Weg, welchen der Körper in 1 Sekunde zurücklegt.* Man sagt, ein Eisenbahnzug habe eine Geschwindigkeit von 10 m, wenn er in jeder Sekunde eine Strecke von 10 m zurücklegt.

Bei einer gleichförmigen Bewegung ist die Geschwindigkeit immer dieselbe; man findet daher den Weg, welchen der Körper innerhalb einer gewissen Zeit zurücklegt, wenn man seine Geschwindigkeit mit dieser Zeit multipliziert.

Wenn c (celeritas) die Geschwindigkeit, t (tempus) die Zahl der Sekunden und s (spatium) die innerhalb dieser Zeit zurückgelegte Strecke bedeutet, so ist:

$$s = ct; \qquad c = \frac{s}{t}; \qquad t = \frac{s}{c}.$$

Da die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers streng genommen während der ganzen Dauer der Bewegung niemals genau dieselbe bleibt, so ist unter Geschwindigkeit auch bei solchen Körpern, welche sich gleichförmig zu bewegen scheinen, stets die mittlere Geschwindigkeit zu verstehen, also der Weg, welchen man erhält, wenn man den während einer längeren Zeit zurückgelegten Weg durch die Zahl der Sekunden dividiert.

Mittlere Geschwindigkeiten.

Guter Fufsgänger .	1,5 m	Schnellzug . . .	16—22 m	Sturm	17—28 m
Pferd im Trab. . .	2 „	Brieftaube . . .	20—35 „	Schall in der Luft	340 „
Rennpferd	10 „	Schwacher Wind	0,5—4 „	Büchsenkugel . . .	400 „
Dampfschiff	5 „	Gewöhnl. „	4—11 „	Punkt am Erdäquat.	464 „
Gew.Personenzug	8—10 „	Starker „	11—17 „	Erde um die Sonne	29,8 km

2. Ungleichförmige Bewegung. *Legt ein Körper in gleichen Zeiten ungleiche Wege zurück, so ist seine Bewegung eine ungleichförmige. Je nachdem die Wege in den aufeinander folgenden gleichen Zeiten immer gröfser oder kleiner werden, nennt man die ungleichförmige Bewegung beschleunigt oder verzögert.* (Beispiel: Eisenbahnzug bei Beginn und gegen Ende der Fahrt, frei fallender und aufwärts geworfener Stein). Bei einer beschleunigten Bewegung nimmt

somit die Geschwindigkeit zu, bei einer verzögerten Bewegung hingegen ab. Beides kann regelmäfsig oder auch unregelmäfsig erfolgen. Der einfachste Fall ist offenbar derjenige, bei welchem die Zu- oder Abnahme der Geschwindigkeit immer dieselbe bleibt. Nur dieser Fall soll in folgendem berücksichtigt werden.

Angenommen, ein Eisenbahnwagen erlange auf horizontaler Bahn, ohne dafs die Bewegungswiderstände sich änderten, durch die unveränderlich wirkende Dampfkraft in 1 Sek. eine Geschw. von **20** cm, sodafs er also ohne Dampf und ohne Bewegungshindernisse vermöge der Trägheit seiner Masse in jeder folgenden Sekunde einen Weg von 20 cm zurücklegen könnte. Wirkte dann die Dampfkraft immer mit derselben Stärke weiter, so müfste die *Geschwindigkeit* des Wagens, wenn auch die Widerstände der Bewegung immer dieselben bleiben, sich offenbar in jeder folgenden Sekunde um ebensoviel vergröfsern als in der 1. Sek. Die Geschw. würde somit nach 2 Sek. $2 \times 20 = \mathbf{40}$, nach 3 Sek. $3 \times 20 = \mathbf{60}$, nach 4 Sek. $4 \times 20 = \mathbf{80}$ cm betragen *(Endgeschwindigkeiten der einzelnen Sekunden.)*. — Wirkte auf den Wagen, nachdem er eine bestimmte Geschw. erlangt hat, statt der treibenden Kraft eine ebenso grofse hemmende Kraft unverändert ein, so würde seine Geschwindigkeit in derselben Weise abnehmen, wie sie vorher zunahm.

Der bei einer beschleunigten Bewegung während einer Sekunde erfolgte Zuwachs an Geschwindigkeit heifst **Beschleunigung.** *Bleibt die Beschleunigung immer dieselbe, so wird die Bewegung* **gleichmäfsig beschleunigt** *genannt.*

Eine Bewegung, bei welcher die Geschwindigkeit des bewegten Körpers in jeder Sekunde um ein Gleiches abnimmt, heifst **gleichmäfsig verzögerte** *Bewegung.*

Bei einer gleichmäfsig beschleunigten Bewegung wachsen die **Geschwindigkeiten** wie die Zeiten.

Wenn v (velocitas) die Endgeschw., g (gravitas) die Beschleunigung und t die Anzahl der Sekunden ausdrückt, so ist in Zeichen:

$$v = t \cdot g.$$

Unter Geschwindigkeit einer ungleichförmigen Bewegung für einen bestimmten Zeitpunkt ist derjenige Weg zu verstehen, welchen der bewegte Körper von diesem Zeitpunkte ab in 1 Sek. zurücklegen würde, wenn er sich ohne weitere Einwirkung der Kraft gleichförmig weiter bewegte.

Zur Bestimmung des *Weges* denken wir uns eine Sekunde in eine möglichst grofse Anzahl gleicher Zeitteilchen geteilt. Dann mufs unter den obigen Voraussetzungen die Geschw. offenbar wie vorhin am Ende des zweiten Zeitteilchens doppelt, am Ende des dritten 3mal, am Ende des vierten 4mal so grofs sein als am Ende des ersten Zeitteilchens u. s. w.; $\frac{1}{2}$ Sek. nach Beginn der Bewegung mufs daher die Geschw. des Wagens die Hälfte von der Endgeschw. der 1. Sek. betragen *(mittlere Geschwindigkeit der 1. Sek.)*. Stellt man sich ferner vor, in demselben Augenblicke, in welchem der Wagen seine Bewegung beginnt, treffe neben ihm ein anderer, in der gleichen Richtung fahrender Wagen

mit einer Geschw. ein, welche jener mittleren Geschw. (10 cm) gleich ist, und dieser setze seine Bewegung unverändert fort, so würde der 2. Wagen dem ersten zwar zunächst vorauseilen, aber von diesem schon nach 1 Sek. wieder eingeholt sein, denn um ebensoviel, wie die Geschw. des ersten Wagens im ersten, zweiten . . . Zeitteilchen der 1. Sek. kleiner ist als die Geschw. des zweiten Wagens, ist sie im letzten, vorletzten . . . Zeitteilchen gröfser. Beide Wagen legen demnach in der 1. Sek. einen gleichen Weg (10 cm) zurück. Man erhält somit für die ersten beiden Sek. eine mittlere Geschw. von 20 cm u. einen Weg von $2 \times 20 = 40$ cm $= 2^2 \times 10$ cm
3 „ „ „ „ „ 30 „ „ „ „ „ $3 \times 30 = 90$ „ $= 3^2 \times 10$ „
4 „ „ „ „ „ 40 „ „ „ „ „ $4 \times 40 = 160$ „ $= 4^2 \times 10$ „

Bei einer gleichmäfsig beschleunigten Bewegung findet man den **Weg** (s), welchen der bewegte Körper innerhalb einer gewissen Zeit zurücklegt, wenn man die Hälfte seiner Beschleunigung mit dem Quadrate dieser Zeit multipliziert.

In Zeichen: $s = t^2 \cdot \frac{g}{2}$.

Die Richtigkeit dieser Folgerungen läfst sich durch Versuche mit der Fallmaschine bestätigen (siehe folgenden Paragraphen).

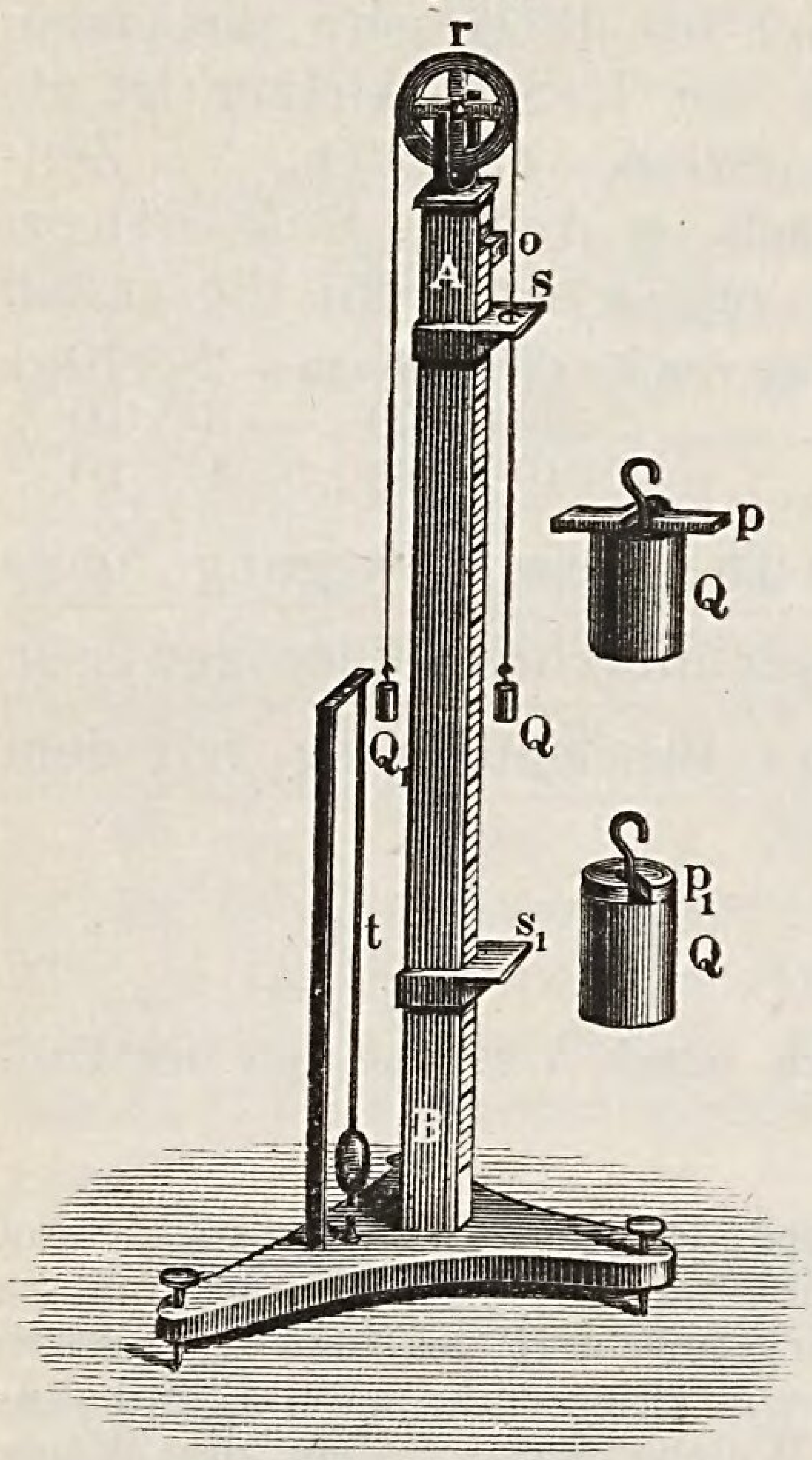
Übungsstoff. 1. In welchem Zustande befinden sich die Gegenstände auf einem Schiffe während der Fahrt und zwar in Beziehung zum Schiffe selbst und zu einem Punkte aufserhalb desselben? — **2.** Welcher Täuschung ist man ausgesetzt, wenn man bei bewegtem Gewölke den Mond oder von einem fahrenden Eisenbahnwagen aus nahe Gegenstände betrachtet? — **3.** Welche Form haben die Wege, welche die Angriffspunkte der Kr. und L. am Hebel, der festen und losen Rolle, dem Wellrade, dem Keil und der Schraube zurücklegen? — **4.** Bahn einer abgeschossenen Kugel a. innerhalb, b. aufserhalb des Geschützrohres? — **5.** Art der Bewegung eines Kreisels, während die Schnur abgezogen wird, sowie während der freien Umläufe? — **6.** Ein Eisenbahnzug habe auf wagerechter Bahn eine gleichförmige Bewegung; wie mufs sich dabei die Dampfkraft zu den Widerständen verhalten? — **7.** Was mufs eintreten, wenn die Dampfkraft ab- oder zunimmt? — **8.** Wie mufs sich die Geschw. a. beim freien Falle, b. beim senkrechten aufwärts gerichteten Wurfe ändern, u. w.? — **9.** Wodurch kann die Bewegung eines auf einer schiefen Ebene frei herabrollenden K. a. eine gleichförmige, b. eine beschleunigte, c. eine verzögerte werden? — **10.** Auf der See ist die Geschw. des Windes durchschnittlich gröfser als auf dem Lande, und in der Höhe gröfser als an der Oberfläche der Erde. Erkl.! — **11.** Weg eines guten Fufsgängers in 1 Stunde, desgl. eines Schnellzuges? — **12.** Wv. Meilen ungefähr kann ein Dampfschiff in einem Tage zurücklegen? (7500 m = 1 Meile). — **13.** Innerhalb welcher Zeit kann ein Schnellzug nach obiger Angabe einen 10 Meilen entfernten Ort erreichen? — **14.** Welche Geschw. hat ein Eisenbahnzug a. nach 10 Sek., b. nach 1 Minute, wenn die Bewegung eine gleichmäfsig beschleunigte ist und die Beschleunigung 20 cm beträgt? — **15.** Nach wv. Minuten würde der Zug die Geschw. eines Schnellzuges erreicht haben?

§ 58. Versuche über die gleichmäfsig beschleunigte Bewegung. Zur Beobachtung einer gleichmäfsig beschleunigten Bewegung läfst sich die *Atwoodsche Fallmaschine* benutzen.

Die **Atwoodsche Fallmaschine** (Fig. 188 folg. Seite) besteht im wesentlichen 1) aus einem etwa 2,5 m hohen aufrechten *hölzernen Ständer* (AB), welcher an einer Seite mit einer Centimeterteilung versehen ist; 2) aus einer auf dem Ständer befestigten, sehr leicht *drehbaren Rolle,*

auf welcher eine durch gleiche Gewichte (Q und Q_1) belastete Schnur hängt; 3) aus zwei *Schiebern* (s und s_1), die am Ständer verschoben werden können; der obere dient zum Auffangen des zur Erzeugung der Bewegung bestimmten Übergewichtes (p), der untere (nicht durchbohrte) Schieber ist zum Auffangen des herabsinkenden Gewichtstückes (Q) bestimmt. Zur Messung der Zeit dient gewöhnlich ein *Pendel* (t), das mit jedem Schlage 1 Sekunde angiebt *(Sekundenpendel)*.

Fig. 188.



Beim Gebrauche des Apparates wird das mit einem Übergewichte versehene Gewichtsstück (Q) so gestellt, dafs die Bewegung desselben beim Nullpunkte der Teilung beginnt. Die Geschw., mit welcher das Fallgewicht herabsinkt, ist um so kleiner, je leichter das Übergewicht ist im Verhältnis zu der bewegten Masse. Zur Ausgleichung der Reibung ist ein besonderes kleines Gewicht notwendig; bei genauen Versuchen mufs aufserdem auf die Masse der Rolle, welche zu bewegen ist, Rücksicht genommen werden. Da das Übergewicht während seiner Bewegung immer denselben Druck auf seine Unterlage ausübt, so ist die Bedingung erfüllt, dafs der bewegte Körper durch eine unveränderliche Kraft in Bewegung gesetzt wird. So lange das Übergewicht wirkt, ist die Bewegung eine beschleunigte; wird es vom Schieber abgehoben, so tritt eine gleichförmige Bewegung ein. (Von den Gewichten ist $Q = Q_1$ und $p = p_1$.)

1. Gleichmäfsig beschleunigte Bewegung.

(Das nicht auffangbare Übergewicht sei die treibende Kraft, Q = 122,5 g, p_1 = 5 g.)

Versuch a. Stellt man den unteren Schieber nacheinander auf 10, 40, 90 und 160 cm, so schlägt das Gewicht Q, wenn man es von 0 ab fallen läfst, nach 1, 2, 3 und 4 Sek. auf den Schieber. *Wege*: **$1^2 \times 10, 2^2 \times 10, 3^2 \times 10, 4^2 \times 10$. . . cm.**

(Das auffangbare Übergewicht sei die treibende Kraft, Q = 122,5 g, p = 5 g.)

Versuch b. Die Kraft wirke zunächst nur 1 Sekunde. Fängt man zu diesem Zwecke das Übergewicht 10 cm unter dem Nullpunkte auf, so legt das Gewichtstück in jeder folgenden Sek. einen Weg von 20 cm zurück. Letzteres ergiebt sich, wenn man den unteren Schieber zunächst 30, dann 50, 70, 90 . . . cm unter dem Nullpunkte befestigt. *Beschleunigung:* **20 cm.** — Damit die Kraft 2 Sekunden wirken kann, werde das Übergewicht 40 cm unter 0 abgehoben. Der Fallraum beträgt dann für jede folgende Sek. 40 cm. *Endgeschwindigkeit*: **2×20 cm.** — Um die Kraft 3 Sekunden wirken zu lassen, ist das Übergewicht 90 cm unter 0 aufzufangen. Hierdurch ergiebt sich für jede folgende Sek. ein Fallraum von 60 cm. *Endgeschwindigkeit:* **3×20 cm.**

2. Abhängigkeit der Beschleunigung von der Kraft und Masse.

(Das auffangbare Übergewicht sei die treibende Kraft.)

Versuch c. Ist das Übergewicht doppelt so grofs als vorhin ($p = 10$ g), die bewegte Masse aber dieselbe ($Q = Q_1 = 120$ g, also $Q + Q_1 + p = 250$ g), so ist die nach 1 Sek. erlangte Geschw. oder die *Beschleunigung* **40 cm.** — Bei Anwendung eines dreimal so grofsen Übergewichtes ($p = 15$ g) erlangt die gleiche Masse ($Q = Q_1 = 117{,}5$ g, mithin $Q + Q_1 + p = 250$ g) eine *Beschleunigung* von **60 cm.** — Ein viermal so grofses Übergewicht ($p = 20$ g) erteilt der gleichen Masse ($Q = Q_1 = 115$ g, also $Q + Q_1 + p = 240$ g) eine *Beschleunigung* von **80 cm** u. s. w.

Die **Beschleunigungen** (g und g_1), welche zwei Kräfte (P und P_1) einem Körper einzeln wirkend erteilen, stehen im geraden Verhältnis zur Stärke der Kräfte.

In Zeichen: $g : g_1 = P : P_1$.

Versuch d. Setzt man durch dasselbe Übergewicht eine doppelt so grofse Masse in Bewegung ($p = 5$ g, $Q = Q_1 = 247{,}5$ g oder $p = 10$ g, $Q = Q_1 = 245$ g, sodafs $Q + Q_1 + p = 500$ g), so wird die *Beschleunigung* nur $\frac{1}{2}$ so grofs. — Wird durch dasselbe Übergewicht eine dreimal so grofse Masse in Bewegung gesetzt, so ist die *Beschleunigung* nur noch $\frac{1}{3}$ so grofs ($p = 5$ g, $Q = Q_1 = 372{,}5$ g oder $p = 10$ g, $Q = Q_1 = 370$ g, sodafs $Q + Q_1 + p = 750$ g).

Die **Beschleunigungen** (g und g_1), welche eine Kraft ungleichen Massen (M und M_1) erteilt, verhalten sich umgekehrt wie die bewegten Massen.

In Zeichen: $g : g_1 = M_1 : M$.

Übungsstoff. **1.** Welchen Bruchteil bildete bei Versuch a und b das Übergewicht von der ganzen bewegten Masse? — **2.** Welche Beschleunigung mufs hiernach entstehen, wenn $Q = Q_1 = 99$ g, $p = 2$ g? — **3.** Wie grofs müfsten Q und Q_1 genommen werden, wenn die vorige Beschleunigung a. durch 4 g, b. durch 6 g Übergewicht erzielt werden sollte, u. w.? — **4.** Wie grofs aber müssen Q und Q_1 sein, wenn bei derselben Masse (200 g) durch das 2-, 3- und 4fache Übergewicht eine ebenso vielfache Beschleunigung erzielt werden soll? — **5.** Wie grofs ferner, wenn die Beziehungen zwischen Masse und Beschleunigung nachgewiesen werden sollen? ($p = 4$ g, Q und Q_1 zunächst $= 98$ g.) — **6.** Die Geschw. eines Eisenbahnzuges sei 12 m und nehme in jeder folgenden Sek. gleichmäfsig 20 cm ab. a. Wann wird der Zug stillstehen? b. Welchen Weg wird er noch zurücklegen? — **7.** Ein Zug habe eine Geschw. von 6 m; welchen Weg würde er in 10 Min. zurücklegen a. bei gleichförmiger Bewegung, b. bei gleichmäfsig beschleunigter Bewegung, wenn die Geschw. in jeder Sek. um 2 cm zunähme? Gröfse der erlangten Geschw.? — **8.** Wie grofs würde die Beschleunigung sein, wenn der Zug 1 Min. nach der Abfahrt bei gleichmäfsig beschleunigter Bewegung 540 m zurückgelegt hätte? — **9.** In wv. Sek. kann der Zug bei einer Beschleunigung von 24 cm eine Strecke von 300 m zurücklegen? — **10.** Wenn ein K. frei fällt, so wird er durch eine Kr. in Bewegung gesetzt, welche seinem Gew. gleich ist und immer mit derselben Stärke wirkt. Wie grofs ergiebt sich hiernach unter Berücksichtigung der Ergebnisse obiger Versuche die Beschleunigung der Erdschwere?

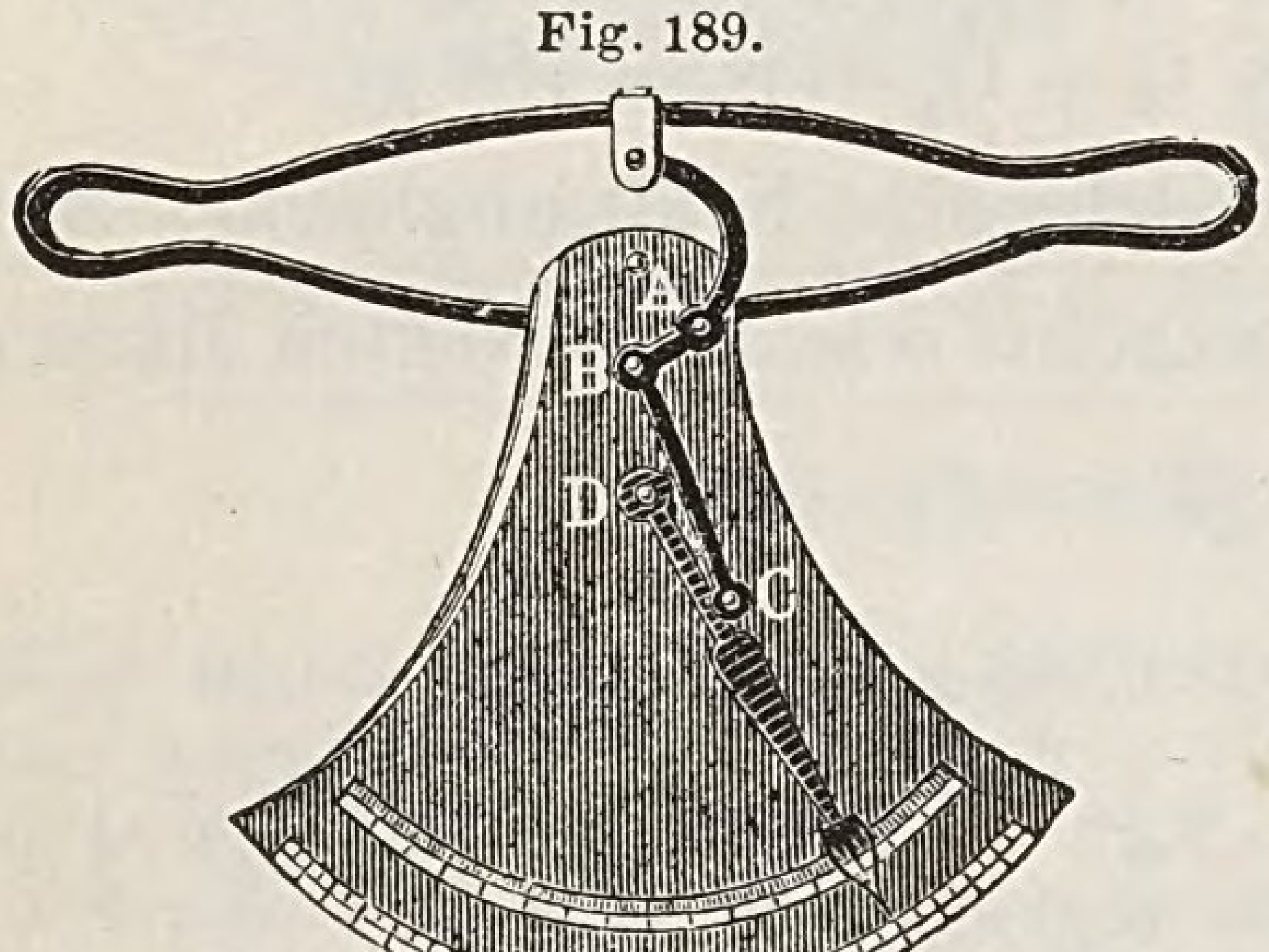
§ 59. Mafs der Kräfte. Gleichgewicht. Wirkung und Gegenwirkung. An jeder Kraft unterscheidet man dreierlei: 1) ihren Angriffspunkt, d. h. denjenigen Punkt des Körpers, auf welchen die Kraft unmittelbar wirkt, 2) ihre Richtung, d. h. diejenige gerade Linie, in welcher die Kraft den Angriffspunkt zu bewegen strebt, 3) ihre Gröfse oder Stärke.

Da wir nur die Wirkungen der Kräfte, nicht aber die Kräfte selbst wahrnehmen, so können wir letztere auch nur aus ihren Wirkungen kennen lernen, ihre Gröfse oder Stärke also auch nur nach ihren Wirkungen beurteilen Nach § 4 kann die Schwerkraft zweierlei Wirkungen hervorbringen, nämlich einen blofsen Druck oder Zug, oder eine Bewegung (mechanische Wirkungen). Mechanische Kräfte lassen sich daher auf zweierlei Art messen: 1) indem man die Gröfse ihrer *Druck-* oder *Zugwirkungen* bestimmt; 2) indem man untersucht, wie grofs ihre *bewegende Wirkung* ist, d. h. wie schnell ein Körper (z. B. eine abgeschossene Kugel) sich bewegt, wenn die Kraft während einer gewissen Zeit auf den Körper eingewirkt hat. Das erstere Verfahren ist das einfachere.

Als **Krafteinheit** wird daher gewöhnlich eine *Kraft* bezeichnet, *welche in ihrer Richtung den Druck oder Zug einer Gewichtseinheit* (1 kg) *auszuüben vermag.*

Als Instrument zur Messung von Druck- oder Zugkräften dient namentlich die **Federwage** (siehe Fig. 189) und das **Dynamometer.**[1]) Letzteres wird für grofse Kräfte, z. B. die Zugkraft eines Pferdes, angewandt. Bei beiden schliefst man aus der Stärke der Biegung einer elastischen Feder auf die Gröfse der Kraft.

Fig. 189.



Ein Dynamometer besteht gewöhnlich aus einem starken elastischen Stahlbügel, welcher in die Zugrichtung (z. B. Zuglinie eines Pferdes) eingeschaltet wird. Am Bügel ist eine Metallscheibe befestigt, auf der sich beim Anziehen desselben ein Zeiger bewegt. Letzteres wird durch einen Winkelhebel (ABC) vermittelt, dessen kurzer Arm durch eine Schubstange mit dem Bügel gelenkartig verbunden ist und dessen langer Arm auf den Zeiger einwirkt. Eine auf dem Rande der Scheibe angebrachte Teilung giebt die Gröfse des ausgeübten Zuges in Kilogrammen an.

Um die Gröfse einer Kraft aus ihrer bewegenden Wirkung, z. B. die Gröfse der Pulverkraft, durch welche die Kugel eines Geschützes in Bewegung gesetzt wird, aus der Geschw. der Kugel bestimmen zu können, ist es zunächst erforderlich, aus der angenommenen Krafteinheit ein neues geeignetes Kraftmafs abzuleiten. Dies ist möglich, da man die bewegende Wirkung der Erdanziehung, also derselben Kraft, welche das Gewicht der Körper verursacht, genau kennt. Nach § 6 fallen alle irdischen Körper im leeren Raume gleichschnell. Die Geschw., welche alle frei fallenden Körper im leeren Raume erlangen, nachdem die Schwer-

[1]) δύναμις (dynamis), Kraft.

kraft 1 Sek. auf sie eingewirkt hat, beträgt 9,8 m (genauer 9,806 m unter 45° Breite in Meereshöhe), d. h. wenn die Erde nicht weiter auf den fallenden Körper einwirkte, so würde dieser in jeder folgenden Sek. einen Weg von 9,8 m zurücklegen. (Beschleunigung der Schwerkraft.) Es wird somit an der Gröſse der angenommenen Krafteinheit nichts geändert, wenn wir letztere als eine Kraft bezeichnen, welche einer Masse von 1 kg in 1 Sek. eine Geschwindigkeit von 9,8 m oder, was nach § 58 dasselbe ist, einer Masse von 9,8 kg in 1 Sek. eine Geschwindigkeit von 1 m erteilt. Nimmt man hiernach 9,8 kg, d. h. diejenige Anzahl der Kilogramme eines Körpers, welche sich nach der Schwerkraft für 1 m Beschleunigung ergiebt, als Masseneinheit an, so folgt:

Als **Krafteinheit** *kann auch eine Kraft bezeichnet werden, welche der Masseneinheit (9,8 kg) in 1 Sek. eine Geschwindigkeit von 1 m erteilt.*

Bezeichnet Q das Gewicht eines Körpers, g die Gröſse der Beschleunigung der Schwere, M die Masseneinheiten des Körpers, so ist

$$M = \frac{Q}{g}. \quad \text{(In Worten?)}$$

Beispiel: Eine Kanonenkugel verlasse das Geschützrohr mit einer Geschw. von 600 m. Wie groſs ist der Druck, den die Pulvergase auf die Kugel (vom Reibungswiderstande abgesehen) ausgeübt haben, wenn die Dauer der Einwirkung der Gase $\frac{1}{100}$ Sek. beträgt, und wenn man annimmt, daſs die Triebkraft während dieser Zeit immer die gleiche Stärke hatte? Das Gewicht der Kugel betrage 20 kg.

Auflösung. Um einer Masse von 9,8 kg in 1 Sek. die Geschw. von 1 m zu erteilen, ist ein Druck von 1 kg erforderlich; soll einer Masse von 20 kg in 1 Sek. dieselbe Geschw. erteilt werden, so ist also ein Druck von $\frac{20}{9,8}$ kg nötig. Bei einer Geschw. von 600 m muſs die Kraft 600 mal so groſs sein. Da die Kugel diese Geschw. nicht nach 1 Sek., sondern schon nach $\frac{1}{100}$ Sek. erlangt, so muſs der Druck der Pulvergase $600 \times 100 \times \frac{20}{9,8}$ kg oder nahezu 122449 kg betragen.

Bem. Für wissenschaftliche Messungen nimmt man als **Einheit der Kraft** das **Dyn** an, das ist diejenige Kraft, welche der Einheit der Masse (ein *Gramm*) in der Einheit der Zeit (eine *Sekunde*) die Einheit der Geschwindigkeit (ein *Centimeter*) erteilt. Das auf diesen Einheiten beruhende Maſssystem wird als das **Centimeter-Gramm-Sekunden-System** bezeichnet (C.-G.-S.-System). Die Masse eines Gramms wird dabei auf die geographische Breite von Paris bezogen. Bringt man dieselbe Masse unter eine andere Breite, so ändert sich ihr Gewicht (durch Wägung auf ein und derselben Federwage nachweisbar!), während die Masse selbst dieselbe bleibt. Da die Erdanziehung der Grammmasse in der ersten Sekunde des freien Fallens eine Geschwindigkeit von 981 cm erteilt, so entspricht dieselbe der Summe von 981 Krafteinheiten, mithin ist 1 Gramm = 981 Dyn oder umgekehrt 1 Dyn = $\frac{1}{981}$ Gramm (also ungefähr = 1 mg).

Zwei Kräfte sind offenbar gleichstark, wenn der Druck oder Zug der einen Kraft ebensogroſs ist wie der Druck oder Zug der anderen Kraft, oder wenn die Geschwindigkeiten, welche die beiden Kräfte während der gleichen Zeit gleichen Massen erteilen, einander gleich sind.

Verhält sich ein ruhender oder bewegter Körper unter der Einwirkung mehrerer Kräfte so, als ob die Kräfte gar nicht vorhanden wären, so sagt man, die Kräfte halten einander das **Gleichgewicht,** *oder der Körper sei im Gleichgewichte.*

An einer Maschine, welche in Bewegung ist, befinden sich die treibenden und die den Widerstand erzeugenden Kräfte im Gleichgewichte, wenn die Maschinenteile sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen.

Da eine Kraft stets zwischen zwei Körpern oder Körperteilchen wirkt, so ruft ihre Wirkung in allen Fällen eine ihr gleiche Gegenwirkung nach entgegengesetzter Richtung hervor. So ist z. B beim Spannen eines Bogens, dem Zusammendrücken einer elastischen Feder, dem Strecken einer dehnbaren Schnur oder dergl. deutlich eine Gegenwirkung wahrzunehmen, welche um so mehr zunimmt, je stärker man drückt oder zieht, und wieder abnimmt, wenn der ausgeübte Druck oder Zug nachläfst. Beim Zerreifsen, Zerdrücken, Zerschneiden, Zerbrechen eines Körpers übt nicht nur die Hand einen Druck oder Zug auf den Gegenstand oder das benutzte Werkzeug aus, sondern diese wirken ebensostark wieder auf die Hand zurück. Ein Pferd, das einen Wagen zieht, erleidet durch den Wagen nach rückwärts einen gleichen Gegenzug u. s. w. Wirkung und Gegenwirkung bei Anwendung magnetischer und elektrischer Kräfte. (Beispiele!)

Jede Wirkung erzeugt eine gleiche Gegenwirkung: **Reaktionsgesetz.**

Übungsstoff. 1. Welchen Vorteil gewährt bei dem Dynamometer (Fig. 189) die Einschaltung des Hebels ABC? (Das Verhältnis der Hebelarme sei 1 : 4 und der Punkt C liege etwa in $\frac{1}{3}$ der Länge des Zeigers.) — 2. Wie liefse sich mit Hilfe des Dynamometers ermitteln, wer von 2 Personen den stärksten Zug oder den stärksten Druck auszuüben vermag? — 3. Wie grofs ist die Beschleunigung der Schwere, a. auf dem Monde, b. auf der Sonne, wenn die Anziehung des Mondes $\frac{1}{6}$, die der Sonne das 28fache der Erdanziehung beträgt? (Vgl. § 56, Fragen 7 und 8.) — 4. Warum mufs aber dennoch die Masseneinheit für alle drei Himmelskörper dieselbe Gröfse haben? (Vgl. § 56, Frage 9.) — 5. Wv. Masseneinheiten enthält ein K. von 147 kg Gewicht? — 6. Wie läfst sich aus der Zahl der Masseneinheiten eines K. dessen Gew. bestimmen? — 7. Ein Eisenbahnwagen von 4900 kg werde von Arbeitern 30 Sek. lang auf den Schienen mit einer Kr. von 10 kg fortgeschoben. Welche Geschw. wird der Wagen dadurch erlangen, wenn von Reibung abgesehen wird? — 8. Wie grofs würde die Kr. sein müssen, wenn der Wagen in 20 Sek. eine Geschw. von 2 m erlangen sollte? — 9. Wie grofs mufs die Triebkraft der Pulvergase sein, wenn eine Flintenkugel von 20 g den Lauf mit einer Geschw. von 300 m verläfst, und die Dauer der Einwirkung $\frac{1}{150}$ Sek. beträgt? (Es soll vom Reibungswiderstande abgesehen und angenommen werden, die Triebkraft wirke immer mit derselben Stärke.)

§ 60. Mechanische Arbeit. Wird durch eine Kraft eine Bewegung hervorgebracht, z. B. ein Stein gehoben, eine Feder gespannt, ein Wagen fortgezogen, eine Maschine getrieben, eine Kugel abgeschossen u. s. w., so übt die Kraft in jedem Punkte ihres Weges einen Druck oder Zug aus; *sie überwindet also auf einer gewissen Strecke einen Widerstand.* Eine solche Kraftwirkung bezeichnet man als **mechanische Arbeit,** oder kurz als Arbeit.

Bem. Man verwechsele Arbeitsleistung nicht mit der blofsen Ausübung eines Druckes oder Zuges. Arbeit ist Druck oder Zug verbunden mit Bewegung.

Die Gröfse der mechanischen Arbeit hängt hiernach nicht allein von der Gröfse des überwundenen Widerstandes ab, sondern

auch von der Gröfse der Strecke, auf welcher der Widerstand überwunden wurde und zwar wächst die Arbeit mit beiden in gleichem Verhältnis. Wird z. B. ein Stein von 10 kg gehoben, oder ein Wagen 10 m. weit fortgezogen, so ist die geleistete Arbeit 10mal so grofs, als wenn der Stein nur 1 kg wöge oder der Wagen nur 1 m weit fortbewegt würde.

Um die Gröfse der Arbeit kurz in Zahlen ausdrücken zu können, bezeichnet man als **Arbeitseinheit** *diejenige Arbeit, welche verrichtet wird, wenn eine Last von 1 kg 1 m hoch gehoben, oder überhaupt ein Widerstand von 1 kg auf einem Wege von 1 m überwunden wird.* Diese Arbeitseinheit heifst Kilogrammmeter (kgm) oder Meterkilogramm (mkg).

Beispiel. Wird ein Stein von 100 kg Gew. 1 m hoch gehoben oder eine Pflugschar bei einem Widerstande von 100 kg 1 m weit durch den Boden gezogen, so werden in beiden Fällen 100 mkg Arbeit verrichtet; die Arbeit würde 500 kg betragen, wenn entweder die Widerstände oder die Wegstrecken 5 mal so grofs wären.

Die Arbeit (A) einer Kraft (P) ist gleich dem Produkte aus der Kraft und dem in ihrer eigenen Richtung zurückgelegten Wege (W).

In Zeichen: $A = P . W.$

Bei Dampfmaschinen, wie überhaupt in allen Fällen, in denen eine bedeutende mechanische Arbeit geleistet wird, wendet man die sogen. Pferdekraft als Mafs für die geleistete Arbeit an. Ein kräftiges Pferd kann bei täglich achtstündiger Thätigkeit mit angemessener Unterbrechung einen Widerstand von 75 kg überwinden und dabei im Durchschnitt in jeder Sekunde einen Weg von 1 m zurücklegen. *Eine* **Pferdekraft** *ist hiernach die Arbeit von 75 mkg in einer Sekunde.*

Beispiel. Eine Maschine „arbeitet mit 100 Pferdekräften", heifst: Sie verrichtet in jeder Sekunde eine Arbeit von $75 \times 100 = 7500$ mkg. Dieselbe Arbeit würde eine Lokomotive leisten, wenn der Widerstand des Zuges z. B. 2500 kg und der in jeder Sekunde zurückgelegte Weg 3 m betrüge.

Wenn eine Kraft *unmittelbar* auf einen Körper einwirkt, z. B. ein Stein mit der Hand gehoben, ein Pflug durch ein Zugtier gezogen wird, so legen Kraft und Last gleiche Wege zurück. Die Last wirkt dabei als Gegenkraft in einer der Kraft gerade entgegengesetzten Richtung. Tritt während der Bewegung keine Änderung in der Geschw. ein, so müssen Kraft und Last einander gleich sein. Bezeichnet man nun die der Arbeit der Kraft entsprechende Gegenwirkung der Last ebenfalls als Arbeit, und zwar als Arbeit der Last, so kann man sagen, *die Arbeit der Last sei in solchem Falle der Arbeit der Kraft gleich.*

Wird zur Überwindung eines Widerstandes eine *Maschine* angewandt, so können (wie in früheren Paragraphen, §§ 7 bis 14, nachgewiesen ist) sowohl Kraft und Last selbst, als auch ihre Wege verschieden sein. Die früheren Betrachtungen haben in dieser Beziehung ergeben, dafs die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, für den Fall des Gleichgewichtes sich umgekehrt wie Kraft und Last zu einander verhalten. Verhält sich nun *der Kraftweg zum Lastwege, wie die Last zur Kraft sich verhält* ($W_p : W_q = Q : P$), so gilt ganz allgemein das Gesetz:

Die Arbeit der Kraft ist gleich der Arbeit der Last.

In Zeichen: $P . W_p = Q . W_q.$

Die Arbeit, welche eine Kraft zur Überwindung eines Widerstandes mittelst einer Maschine verrichtet, ist demnach ebenso grofs wie diejenige Arbeit, welche die Kraft ohne Anwendung der Maschine zur Überwindung desselbeu Widerstandes hätte verrichten müssen. Durch eine Maschine kann daher wohl die geleistete Arbeit in zweckmäfsiger Weise übertragen werden, es kann aber niemals eine Vergröfserung der Arbeit durch die Maschine eintreten (der mechanische Vorteil ist gleich dem mechanischen Nachteil, § 14). Genau genommen ist der Gebrauch einer jeden Maschine noch mit einem Arbeitsverluste verbunden, da bei der Bewegung derselben stets Reibungswiderstände zu überwinden sind. Nichtsdestoweniger ist die Anwendung der Maschinen eine sehr nützliche, denn ohne Maschinen würden manche Arbeiten gar nicht verrichtet werden können. Da es unmöglich ist, durch eine Maschine Arbeit aus nichts zu schaffen, so ist es auch nicht möglich, eine Vorrichtung herzustellen, welche ununterbrochen Arbeit aus sich selbst erzeugen könnte (Perpetuum mobile).

Übungsstoff. 1. Wv. Arbeit wird verrichtet, wenn 4500 kg Mauersteine 6 m hoch gehoben werden? — 2. Ein Wagen werde 20 m weit fortbewegt und leiste einen Widerstand von 150 kg. Wv. Arbeit? — 3. Vermittelst eines Hebels werde eine Last von 240 kg durch 30 kg Kr. gehoben, der Kraftweg sei 0,8 m; a. Lastweg? b. Arbeit der Kr. und der L.? — 4. Angenommen, dieselbe L. sollte mit Hilfe einer losen Rolle um die gleiche Strecke gehoben werden. a. Wv. Kraft würde dazu nötig sein? b. Welchen Weg hätte die Kr. zurückzulegen? c. Wv. Arbeit würde dadurch geleistet werden? — 5. Durch Anwendung eines Wellrades werden 180 kg 3 m hoch gehoben, während die an der Kurbel wirkende Kr. einen Weg von 15 m zurücklegt. Wie grofs ist die Kr., und welche Arbeit wird von der Kr. und L. geleistet? — 6. An einer schiefen Ebene verhalte sich die Höhe zur Länge wie 1 : 10; es werden auf derselben 360 kg 1,5 m hoch gehoben; a. Wie grofs ist die parallel zur Ebene wirkende Kr., und welchen Weg legt die Kr. dabei zurück? b. Wie grofs ist die von der Kr. und L. geleistete Arbeit? — 7. Der Rücken eines Keiles sei 6 cm breit und die Seite desselben 30 cm lang, die Kr. sei gleich 50 kg. a. Gröfse des überwundenen Widerstandes? b. Arbeit der Kr. und der L., wenn der Keil 20 cm tief eingetrieben wird? — 8. Die Ganghöhe einer Schraube sei 8 mm, der Radius der Schraube gleich 3 cm und die am Umfange derselben wirkende Kr. betrage 20 kg. a. Wie grofs ist der ausgeübte Druck? b. Welchen Weg hat die Kr. zurückzulegen, wenn dieser Druck auf einer Strecke von 10 cm überwunden wird? c. Mech. Arbeit? — 9. Durch den Kopf der Schraube sei ein Stab gesteckt, an welchem die Kr. in einem 18 cm von der Achse der Schraube gelegenen Punkte wirke. Was würde sich ergeben, wenn die Kr. wiederum 20 kg beträge?

§ 61. Von den Hindernissen der Bewegung. Der Widerstand, welchen eine Kraft bei der Verrichtung einer mechanischen Arbeit überwindet, wird nicht allein durch die Trägheit der Masse des bewegten Körpers geleistet, sondern es treten, wie bereits in § 3 hervorgehoben wurde, jeder Bewegung noch gewisse Hindernisse hemmend entgegen, nämlich die Reibung und der Widerstand des Mittels.

Bei der Anwendung von Rollen u. dgl. erwächst auch aus der *Steifigkeit der Seile* ein Widerstand, welcher hemmend auf die Bewegung einwirkt.

Unter **Reibung** *versteht man dasjenige Bewegungshindernis, welches an den Berührungsflächen zweier Körper auftritt, wenn ein Körper sich auf einem anderen bewegt.* Man unterscheidet gleitende und rollende Reibung, je nachdem ein Körper auf einem anderen hingleitet, oder auf einer Unterlage fortrollt. (Beispiele!)

Die Reibung hat ihren Grund darin, dafs selbst die glattesten Flächen fester Körper Unebenheiten besitzen, und die sich berührenden

Teilchen der beiden Körper einander anziehen. Da nun die Unebenheiten der Berührungsflächen mehr oder weniger ineinander greifen, so müssen bei der Bewegung die hervorragenden Teilchen abgestofsen werden, oder der bewegte Körper mufs über sie hinweggehoben werden. Im ersteren Falle ist die *Kohäsion*, im letzteren die *Schwerkraft* zu überwinden. Der durch die *Adhäsion* geleistete Widerstand ist im allgemeinen am gröfsten, wenn die Bewegung beginnt, da während der Ruhe das Anhaften der Berührungsflächen zunimmt. — Für glatte Flächen gelten die beiden einfachen Gesetze:

1) Die gleitende wie die rollende Reibung nimmt zu wie der Druck, welchen der eine Körper gegen den anderen ausübt.

2) Die gleitende Reibung ist gröfser als die rollende und unabhängig von der Gröfse der Berührungsfläche der sich reibenden Körper.

Letzteres wird dadurch erklärlich, dafs bei der gröfseren Anzahl von Berührungspunkten der Druck sich auf eine gröfsere Fläche verteilt.

Zur Überwindung der rollenden Reibung ist bei demselben Drucke um so weniger Kraft erforderlich, je gröfser der Durchmesser des rollenden Körpers ist.

Die Zahlen, welche angeben, der wievielte Teil der Last als Kraft zur Überwindung der Reibung bei bestimmten Körpern erforderlich ist, werden **Reibungs-Koefficienten** *genannt.* Für Metall auf Metall ist der mittlere Koefficient der gleitenden Reibung während der Bewegung bei trockenen Flächen ungefähr $\frac{1}{6}$, bei geschmierten ungefähr ein $\frac{1}{14}$. Für gute Landstrafsen ist der Koefficient der rollenden Reibung durchschnittlich $\frac{1}{50}$, für Eisenbahnen $\frac{1}{200}$.

Die Reibung gewährt uns zahlreiche Vorteile. Ohne Reibung würde das Gehen, Fahren, das Festhalten von Gegenständen, das Eintreiben von Nägeln und Keilen, das Anziehen von Schrauben, das Übertragen der Bewegungen von Maschinenteilen mittelst Riemen, das Spielen auf Streichinstrumenten u. s. w. unmöglich sein. Bei der Anwendung von Maschinen wirkt die Reibung dadurch nachteilig, dafs die wirkliche Nutzleistung, d. h. die Überwindung der durch den Zweck der Maschine bedingten Widerstände, hinter der Arbeit der Kraft zurückbleibt. Die gleitende Reibung wird namentlich in solchen Fällen, in denen Lasten auf dem Boden fortzubewegen sind, dadurch vermieden, dafs man unter den betreffenden Körpern sogen. Leitrollen befestigt. Tische, Sessel, Bettstellen u. s. w. lassen sich bedeutend leichter verschieben, wenn sie mit derartigen Rollen versehen sind.

Als **Widerstand des Mittels** *bezeichnet man den Widerstand, welchen das Wasser und die Luft leisten, worin sich ein Körper bewegt.* Indem der Körper den Stoff vor sich her verdrängt, findet nicht nur eine Reibung statt, sondern der Stoff wird auch zum Teil selbst in Bewegung gesetzt. Letzteres namentlich wirkt hemmend auf die Bewegung des Körpers ein. Für mäfsige Geschwindigkeiten gilt der Satz:

Der Widerstand des Mittels wächst ungefähr wie das Quadrat der Geschwindigkeit; er ist um so gröfser, je dichter das Mittel ist, und hängt ferner von der Gröfse und Gestalt des bewegten Körpers ab.

Beispiel. Ein in Wasser mäfsig bewegter Körper setzt bei der 4fachen Geschw. in derselben Zeit 4mal soviel Wasser in Bewegung und erteilt dem

Wasser, mit welchem er in Bewegung kommt, auch die 4fache Geschwindigkeit; der Widerstand ist also $4 \times 4 = 16$ mal so grofs geworden. — Bei sehr schnellen Bewegungen bilden sich rings um den bewegten Körper Schichten des Mittels, welche mit sehr verschiedener Geschw. fortgerissen werden und ihrerseits wieder andere mit fortreifsen. In solchen Fällen nimmt der Widerstand stärker zu, als oben angegeben ist

Um den Widerstand des Mittels zu verkleinern, giebt man Kähnen, Schiffen, den Scheiben der Uhrpendel u. s. w. eine besondere Form (welche?). Der Widerstand des Mittels ist vorteilhaft beim Schwimmen, Rudern, bei der Fortbewegung von Dampfschiffen durch Schaufelräder und Schrauben, beim Fallen mit einem Fallschirme, beim Fliegen der Vögel u. s. w.

Übungsstoff. 1. Kann die Form der Geschosse (ob kugelig oder spitz) einen Einflufs auf die Flugweite derselben ausüben, u. w.? — 2. Werden eine Bleikugel und eine Kugel von Eisen im W. gleichschnell fallen, a. wenn sie gleichgrofs sind, b. wenn sie gleiches Gew. haben? Grund! — 3. Warum fliefst das W. eines Flusses in der Mitte schneller als am Ufer? — 4. Wenn W. durch einen Schlauch hindurchgetrieben wird (Feuerspritze), so erleidet es im Verhältnis zu seiner Masse einen um so geringeren Reibungswiderstand, je weiter der Schlauch ist. Erkl.! — 5. Warum steigt bei Springbrunnen und Feuerspritzen das W. nicht so hoch, als es nach der Gröfse des Druckes steigen müfste? — 6. Welchen Einflufs würde es auf die Bewegung eines Eisenbahnzuges ausüben, wenn man die Schienen stark mit Fett bestriche? (Raupenzüge.) — 7. Auf welche Weise und zu welchem Zwecke sucht man bei Glatteis die Reibung zu vergröfsern? — 8. Welchen Einflufs übt die Gröfse eines Wagenrades auf die Überwindung der Reibung aus? — 9. Wie ändert sich die Reibung, wenn das Gew. eines Wagens doppelt so grofs wird? — 10. Warum laufen Zapfen in ihren Lagern am leichtesten, wenn sie schon längere Zeit gebraucht sind? — 11. Welche Mittel werden angewandt, um auf Fahrstrafsen die Reibung zu vermindern? — 12. Wv. Kr. ist erforderlich, um einen Wagen von 2000 kg a. auf einer gewöhnlichen Strafse, b. auf Schienen fortzubewegen, wenn die Bahnen wagerecht sind (Rbg.-Koeff. siehe oben)? — 13. Ein Eisenbahnwagen habe ein Gew. von 12000 kg und werde auf einer wagerechten Bahn 30 m weit fortbewegt. Wie grofs ist die geleistete Arbeit, wenn die Reibung $\frac{1}{200}$ beträgt? — 14. Der Umfang eines Schleifsteines sei 4 m, der Druck des zu schleifenden Gegenstandes senkrecht gegen die Schleiffläche betrage 20 kg, der Reibungs-Koeff. sei $\frac{2}{5}$. Wv. Arbeit ist nach 15 Umdrehungen verrichtet?

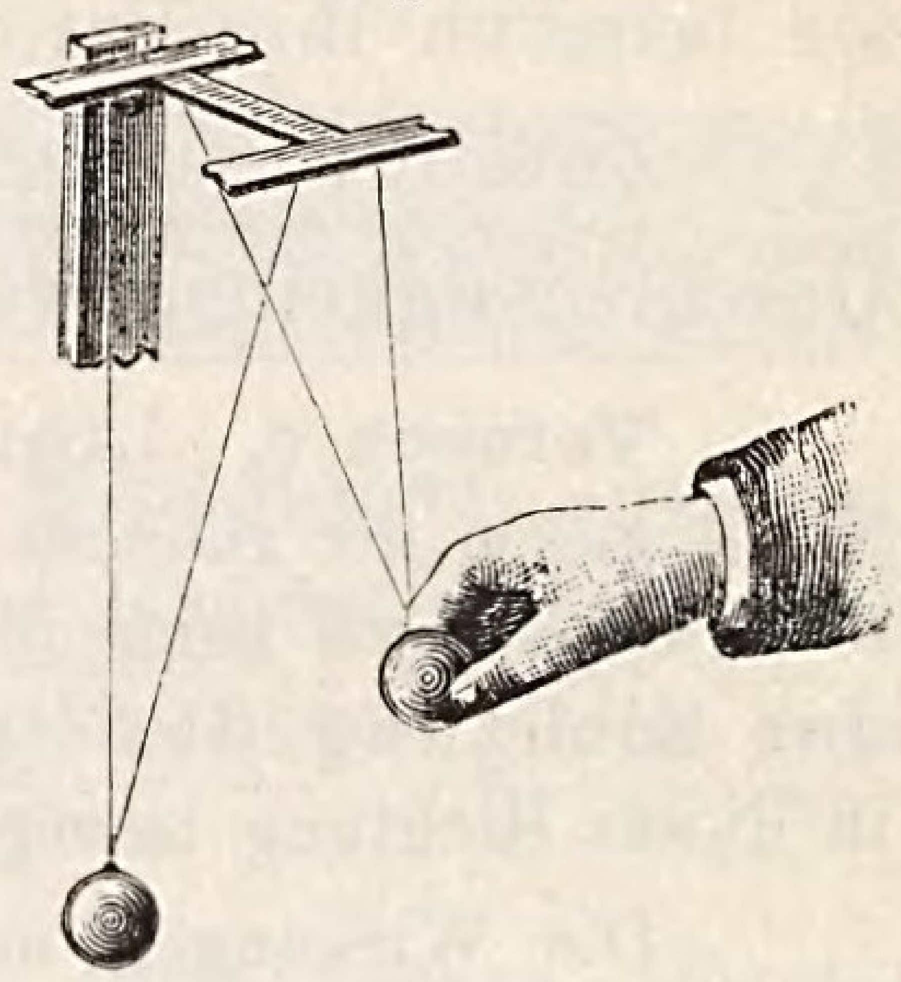
§ 62. Vom Stofse. Trifft ein bewegter Körper auf einen anderen ruhenden oder bewegten Körper, so entsteht ein Stofs. Da die zusammenstofsenden Körper ineinander einzudringen streben, so findet dabei je nach ihrer materiellen Beschaffenheit eine mehr oder weniger merkliche Verschiebung ihrer Massenteilchen statt; aufserdem tritt eine Änderung in den Bewegungszuständen der Körper ein. Einen wesentlichen Einflufs übt die gröfsere oder geringere Elasticität der Körper auf den Erfolg des Stofses aus. Man hat daher namentlich zwischen dem Stofse der elastischen und der als unelastisch geltenden Körper zu unterscheiden. Je nach der Richtung, in welcher der Stofs erfolgt, wird er als gerader, schiefer, centraler oder excentrischer Stofs bezeichnet.

Ein Stofs heifst gerade, wenn er rechtwinklig gegen die Berührungsfläche der beiden Körper gerichtet ist, schief, wenn dies nicht stattfindet; er wird central genannt, wenn die Richtung desselben durch den Schwerpunkt des gestofsenen Körpers hindurchgeht, andernfalls heifst er excentrisch.

Im folgenden findet der Einfachheit wegen nur der centrale Stofs kugelförmiger Körper, deren Masse als vollkommen elastisch oder als vollkommen unelastisch angesehen werden kann, eine Berücksichtigung.

1. Centraler Stofs unelastischer Kugeln. Versuch a. Hebt man von 2 gleichgrofsen Thonkugeln, welche an Doppelfäden dicht nebeneinander in gleicher Höhe aufgehängt sind, die eine nach der Seite hin auf (Fig. 190) und läfst sie dann fallen, so bewegen sich beide Kugeln nach dem Zusammenstofse in der Richtung jener Kugel mit der Hälfte der ursprünglichen Geschwindigkeit weiter. Läfst man beide aus gleicher Höhe nach entgegengesetzten Seiten herabfallen, so heben sich ihre Geschwindigkeiten gegenseitig auf. Ein Zusammenstofs bei ungleichen Geschwindigkeiten ergiebt für gleich gerichtete Bewegungen eine Geschwindigkeit, welche gleich der halben *Summe*, für entgegengesetzt gerichtete eine Geschwindigkeit, welche gleich der halben *Differenz* der ursprünglichen Geschwindigkeiten ist. Hieraus folgt:

Fig. 190.



Wenn zwei unelastische Kugeln von gleicher Masse gerade und central zusammenstofsen, so ist ihre gemeinsame Geschwindigkeit gleich dem arithmetischen Mittel ihrer ursprünglichen Geschwindigkeiten.

Wenn C und c die Geschwindigkeiten vor, V die Geschwindigkeit nach dem Stofse bezeichnen, so ist in Zeichen: $V = \frac{C + c}{2}$.

(Je nach der Bewegungsrichtung ist c positiv oder negativ zu setzen.)

Da ein ruhender Körper zur Erlangung einer bestimmten Geschwindigkeit nach bekannten Erfahrungen desto mehr Kraft erfordert, je gröfser seine Masse ist, so kann ein bewegter Körper auch um so mehr Bewegung an einen anderen abgeben, je mehr Masse er enthält. Aus Versuch c, § 58, läfst sich schliefsen, dafs ein Körper, welcher m Masseneinheiten enthält, einem anderen Körper auch eine m mal so grofse Geschwindigkeit erteilen kann, als ein mit derselben Geschwindigkeit sich bewegender Körper von 1 Masseneinheit. Die Geschwindigkeit, welche zwei bewegte unelastische Körper beim Zusammenstofse annehmen, läfst sich daher dadurch bestimmen, dafs man zunächst diejenigen Geschwindigkeiten berechnet, welche beide Körper einzeln einer Masseneinheit erteilen können, und darauf die Summen dieser Geschwindigkeiten durch die Zahl der Masseneinheiten dividiert.

In Zeichen: $V = \frac{MC + mc}{M + m}$.

Das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit ist der Ausdruck für die **Bewegungsgröfse** *oder* **Bewegungsquantität** *eines bewegten Körpers.*

2. Centraler Stofs elastischer Kugeln. Bekannte Erfahrungen lehren, dafs elastische Kugeln nach einem geraden Stofse gegen eine feste Wand auf demselben Wege und mit derselben Geschwindigkeit wieder zurückkehren, während unelastische Körper liegen bleiben. Wird eine elastische Kugel central gestofsen, sodafs sie schräg gegen eine feste Wand trifft, so springt sie mit derselben Geschwindigkeit und unter demselben Winkel nach der anderen Seite zurück (Gummibälle, Billardkugeln). — Treffen zwei Kugeln aufeinander, so ergiebt sich Folgendes:

Versuch b. Verfährt man wie bei Versuch a mit 2 gleichgrofsen Elfenbeinkugeln, so nimmt die ruhende Kugel die Bewegung der anderen

an und diese ruht nach dem Stoſse. Läſst man beide Kugeln aus beliebiger Höhe herabfallen, so nimmt die eine die Geschwindigkeit der anderen an. Beide kehren nach dem Stoſse um, wenn sie entgegengesetzt, sie behalten ihre Bewegungsrichtung bei, wenn sie gleich gerichtet waren. Zwei elastische Kugeln von gleicher Masse vertauschen ihre Geschwindigkeiten, wenn sie gerade und central zusammenstoſsen.

Versuch c. Läſst man von 2 ungleichgroſsen Kugeln 1) die gröſsere Kugel gegen die ruhende kleinere, 2) die kleinere gegen die ruhende gröſsere stoſsen, so bewegen sich nach dem Stoſse beide Kugeln und zwar im 1. Falle beide in der Richtung des Stoſses, während im 2. Falle nur die gröſsere Kugel sich in dieser Richtung bewegt, die kleinere hingegen wieder zurückspringt.

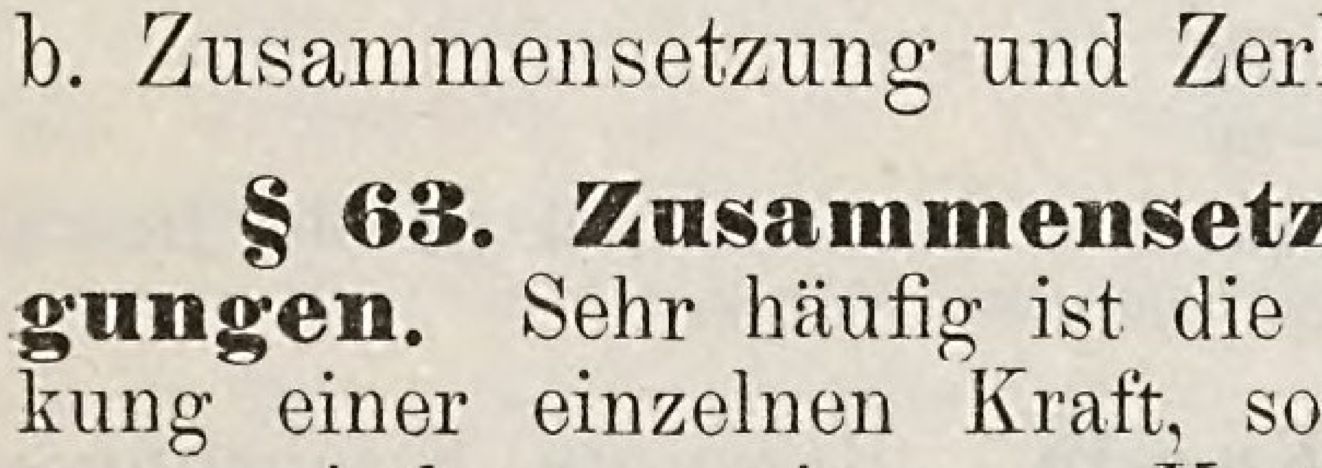
Die Wirkungen des Stoſses werden sehr häufig benutzt, um einen harten Körper in einen weichen einzuschlagen oder einzurammen, ferner bei Bearbeitung eines Körpers durch Hammerschläge, bei Stampf-, Poch-, Hammerwerken u. dgl. Der Stoſs elastischer Kugeln findet seine bekannteste Anwendung beim Billardspiele. Bei manchen Fahrzeugen, Maschinen u. s. w. sucht man die schädlichen unelastischen Stöſse dadurch zu vermeiden oder abzuschwächen, daſs man zwischen den unelastischen Körpern elastische einschaltet.

Übungsstoff. 1. Erkläre die Wirkung eines Sprungbrettes. — 2. Eine Billardkugel soll so gestoſsen werden, daſs sie eine ruhende Kugel in Bewegung setzt, nach dem Stoſse selbst aber stillsteht. Wie ist dies auszuführen? — 3. Wie ferner, wenn die gestoſsene Kugel hinter der anderen herlaufen soll? — 4. Wenn Nägel in dünne Bretter eingeschlagen werden, so wirkt der elastische Stoſs oft störend; inwiefern? — 5. Wie verfährt man in solchen Fällen, um die beabsichtigte Wirkung zu erzielen? — 6. Inwiefern macht es sich dabei bemerklich, daſs die Geschw., welche der ruhende Körper durch den Stoſs erhält, mit der Gröſse seiner Masse abnimmt? — 7. In der Hand kann man, ohne sich zu schaden, Steine zerschlagen, wenn Hand und Arm frei sind, nicht aber, wenn die Hand auf einer Unterlage liegt. Erkl.! — 8. Das Abprallen beim schiefen Stoſse kann unter gewissen Bedingungen auch durch Flgkn. erfolgen. Bekanntes Beispiel! — 9. Von 2 gleichgroſsen unelastischen Kugeln habe die eine 10 m, die andere 15 m Geschw. Wie werden sie sich nach ihrem Zusammenstoſse verhalten, wenn der Stoſs ein gerader und centraler ist und die Bewegungsrichtungen vor dem Stoſse a. gleich, b. entgegengesetzt waren? — 10. Wie ferner, wenn die Kugeln a. 6 und 4 kg, b. 2 und 5 kg wiegen?

b. Zusammensetzung und Zerlegung von Bewegungen und Kräften.

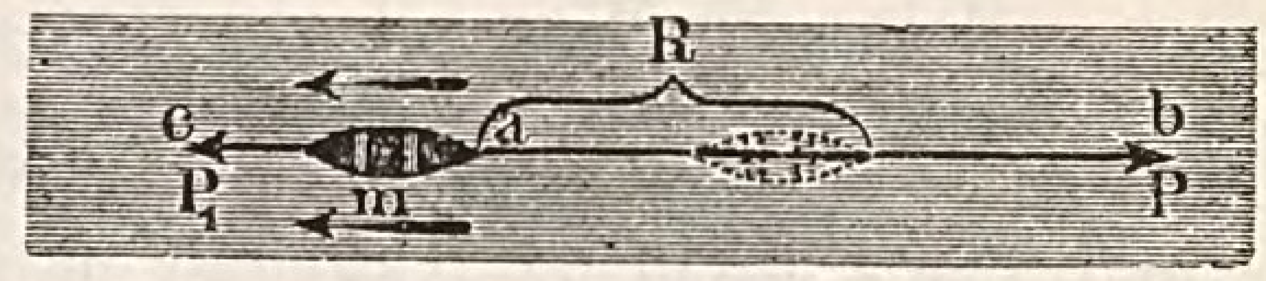
§ 63. Zusammensetzung und Zerlegung von Bewegungen. Sehr häufig ist die Bewegung eines Körpers nicht die Wirkung einer einzelnen Kraft, sondern ein Ergebnis von dem Zusammenwirken mehrerer Kräfte. Ein sehr bekanntes und einfaches Beispiel hierzu ist die Bewegung eines Kahnes, auf den sowohl die Kraft, mit welcher gerudert wird, als auch die Strömung des Gewässers einwirkt. Angenommen, der Kahn m (Fig. 191) werde durch die Ruderkraft (P) innerhalb einer gewissen Zeit in gerader Richtung von a nach b, durch die Strömung (P_1) allein in derselben Zeit und *in gleicher Richtung* von a nach c getrieben, so legt er, wenn beide Kräfte gleichzeitig wirken, innerhalb derselben Zeit einen Weg (ad) zu-

Fig. 191.



rück, welcher zwar auch die Richtung ab hat, aber um ac länger ist als ab (ad = ab + ac). Würde der Kahn während des Ruderns durch die Strömung *in entgegengesetzter Richtung* um ac (Fig. 192) rückwärts getrieben, so würde er während dieser Zeit in einem Punkte ankommen, welcher um ac hinter b liegt (ad = ab — ac). Hieraus folgt:

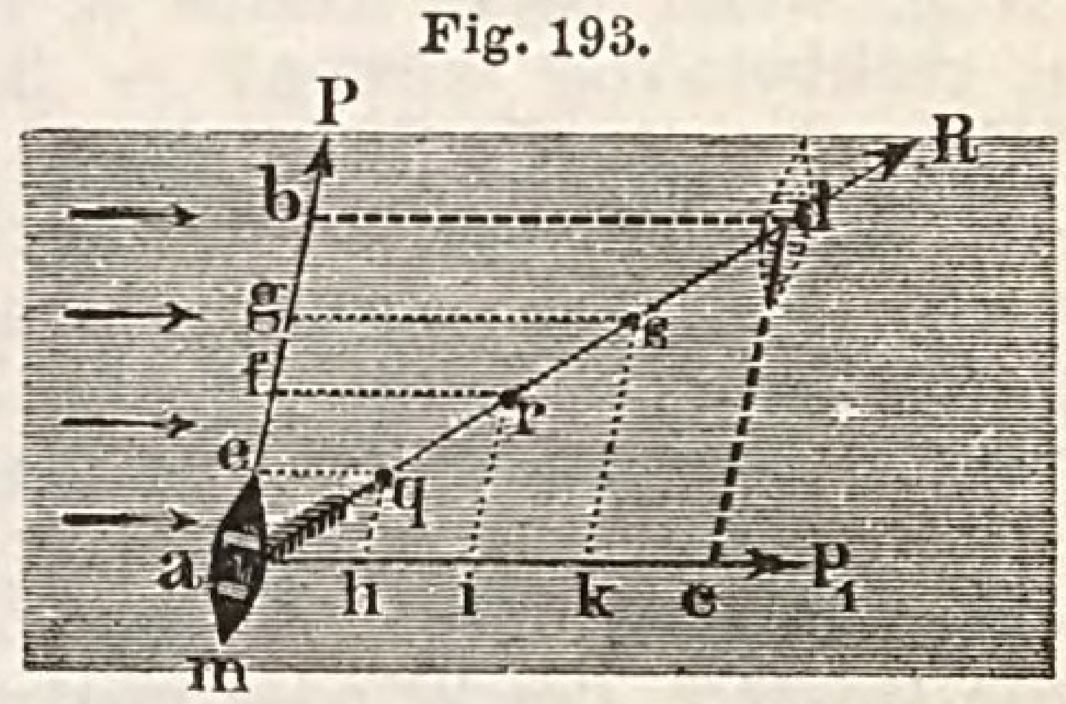
Fig. 192.



Wird ein Körper in gerader Linie zu zwei Bewegungen angeregt, so ist der wirklich zurückgelegte Weg bei gleicher Richtung der Kräfte gleich der Summe, bei entgegengesetzter Richtung derselben gleich dem Unterschiede der einzelnen Wege.

Wirkten die beiden Kräfte wie in Fig. 193, *unter einem Winkel* auf den Kahn ein, so würde der Kahn weder in der einen noch in der anderen Richtung sich bewegen. Statt nach b zu gelangen, würde er offenbar in einem Punkte ankommen, welcher von b um ac in der Richtung der Strömung entfernt ist, also in dem Schnittpunkte d der von b und c zu ac und ab gezogenen Parallelen. Der Kahn hat somit die dem Ausgangspunkte a gegenüberliegende Ecke des Parallelogramms erreicht.

Fig. 193.



Das Parallelogramm, in welchem zwei anstofsende Seiten die Einzelwege darstellen, die ein durch zwei Kräfte bewegter Körper in gleichen Zeiten zurücklegen würde, heifst **Bewegungs-Parallelogramm.**

Wird ein Körper zu zwei Bewegungen angeregt, deren Richtungen einen Winkel miteinander bilden, so befindet er sich nach irgend einer Zeit in der seinem Ausgangspunkte gegenüberliegenden Ecke des Bewegungs-Parallelogramms.

Ist die Wirkung der beiden Kräfte derart, dafs der bewegte Körper durch jede Kraft allein getrieben, in gleichen, wenn auch noch so klein angenommenen Zeiten von beiden Seitenwegen gleiche Bruchteile zurücklegen würde, so bleibt die von ihm einmal eingeschlagene Richtung immer dieselbe (warum?). Alle Punkte, welche er unter dieser Voraussetzung trifft, müssen demnach in einer geraden Linie und zwar in der Diagonale seines Bewegungs-Parallelogramms liegen.

Welchen Einflufs würde es nach Fig. 193 auf die Richtung des vom Kahn in Wirklichkeit zurückgelegten Weges ausüben, wenn a. mit zunehmender, b. mit abnehmender Kraft gerudert würde, die Strömung aber immer gleichstark wäre?

Sind die Seitenbewegungen gleichartig, so stellt die Diagonale des Bewegungs-Parallelogramms den Weg dar, welchen der Körper in Wirklichkeit zurücklegt (**Mittelweg** oder **resultierender Weg**).

Wenn s und s_1 die Seitenwege bedeuten für den besonderen Fall, dafs diese einen rechten Winkel einschliefsen, so ist in Zeichen: $R = \sqrt{s^2 + s^2_1}$. †)

†) Allgemein: $R = \sqrt{s^2 + {}_1s^2 + 2\, s . s_1 . \cos w}$ (siehe Seite 148).

Werden die Strecken ae, ef, fg und gb (Fig. 193), sowie die Strecken ah, hi, ik und kc in je 1 Sek. durchlaufen, so stellen sie die Seiten-Geschwindigkeiten, die auf der Diagonale gelegenen Strecken aq, qr, rs und sd hingegen die resultierenden Geschwindigkeiten dar.

Wäre der Weg ad gegeben und die Aufgabe gestellt, die Bewegung des Körpers in zwei etwa der Richtung nach gegebene Seitenbewegungen zu zerlegen, also z. B. zu bestimmen, welchen Weg der Kahn durch die Strömung, sowie durch das Rudern allein zurückgelegt haben würde, so brauchte man offenbar nur durch d zu den Geraden, welche jene Richtungen angeben, Parallelen zu ziehen. Dieses Verfahren wird als das **Zerlegen von Bewegungen** bezeichnet.

Übungsstoff. 1. Wie würde die Richtung und Länge des Mittelweges (Fig. 193) sich ändern, wenn der Winkel, welchen die beiden Kraftrichtungen einschliefsen, a. bis 0° abnähme, b. bis 180° zunähme, die Gröfse der Seitenkräfte aber sich nicht änderte? — 2. Ein Kahn lege durch andauerndes, gleichstarkes Rudern allein in 1 Minute 60 m, durch die Strömung allein 20 m zurück. Welches ist der Weg, wenn beide Kräfte a. in gleicher, b. in gerade entgegengesetzter Richtung, c. rechtwinklig wirken? — 3. Einflufs des Winkels auf Richtung und Länge des Weges? — 4. Ein Stein werde a. senkrecht abwärts, b. senkrecht aufwärts geworfen; die Wurfkraft erteile ihm eine Geschw. von 50 m. Welche Geschw. hat der Stein nach 1, 2, 3, 4... Sek., wenn die Geschw., welche ein frei fallender K. in diesen Zeiteinheiten erlangt, 10, 20, 30, 40... m beträgt? — 5. Wie müfste die Bahn eines wagerecht geworfenen Steines beschaffen sein, wenn letzterer mit gleichförmiger Geschw. zur Erde hinabsänke, und wie ist sie in Wirklichkeit; w.? — 6. Nach welcher Richtung wird ein Vogel getrieben, der bei Westwind nach Norden fliegt, wenn die Geschw. des Windes ebenso grofs ist als die Geschw., welche die Flugkraft dem Vogel erteilt? — 7. Wovon hängt es hierbei ab, ob der Weg mehr eine nördliche oder westliche Richtung hat? — 8. Welche Richtung hat der Weg, den eine quer durch einen im Fahren begriffenen Eisenbahnwagen rollende Kugel zurücklegt, in Bezug auf die Schienen? — 9. Einflufs der Geschw. auf die Gröfse des Winkels, den der Weg der Kugel mit den Schienen bildet? — 10. Warum ist von einem schnell fahrenden Schiffe aus ein am Ufer befindlicher Gegenstand durch einen Wurf schwer zu treffen? — 11. Wirkliche und scheinbare Richtung a. eines bei ruhiger Luft nahe vor dem Fenster eines Eisenbahnwagens, b. eines am Fenster selbst während der Fahrt herabfallenden Regentropfens? — 12. Einflufs der Fahrgeschwindigkeit? — 13. Wie mufs sich der Lauf des Schiffes (Fig. 57) ändern, wenn beim Vorwärtsfahren das Steuer a. schräg nach rechts, b. schräg nach links gedreht wird, u. w.?

§ 64. Zusammensetzung der Kräfte. Wie sich aus den Wegen, welche ein Körper unter der Einwirkung zweier oder mehrerer Kräfte einzeln zurücklegen würde, der in Wirklichkeit zurückgelegte Weg finden läfst, so läfst sich auch aus den einzelnen Kräften eine Kraft bestimmen, durch welche dieselben in ihrer gemeinsamen Wirkung ersetzt werden können. Fälle, in denen ein Zusammenwirken von Kräften stattfindet, sind aufser den in vorigem Paragraphen betrachteten Beispielen die Fortbewegung eines Schiffes durch Wind und Strömung, die Bewegung eines Geschosses unter der Einwirkung von Pulverkraft und Erdanziehung, das Aufziehen eines Rammbärs durch mehrere an Seilen wirkende Zugkräfte, das Zusammenwirken von Kraft und Last am Hebel u. s. w.

Eine Kraft, welche allein dieselbe Wirkung hervorbringt, wie zwei oder mehrere gleichzeitig wirkende Kräfte, wird **Mittelkraft** *oder* **Resultierende** *genannt; die Einzelkräfte heifsen* **Seitenkräfte** *oder* **Komponenten.**

1. Zusammensetzung von Kräften, welche denselben Angriffspunkt haben und in derselben Geraden wirken.

Da die Stärke der Kräfte nur nach der Gröfse ihrer Wirkungen beurteilt werden kann, so giebt das Verhältnis, in welchem der von einem Körper durch die Einwirkung mehrerer Kräfte zurückgelegte Weg zu denjenigen Wegen steht, die der Körper durch die Seitenkräfte innerhalb derselben Zeit einzeln zurücklegen würde, auch zugleich das Verhältnis der Mittelkraft zu den Seitenkräften an. Es ergiebt sich somit nach Anleitung der Figuren 191 und 192 des vorigen Paragraphen:

1. Wenn zwei oder mehrere Kräfte in derselben Richtung gleichzeitig auf einen Punkt wirken, so hat die Mittelkraft dieselbe Richtung und ist gleich der **Summe** der einzelnen Kräfte.

In Zeichen: $R = P + P_1 + P_2 + \dots$

2. Wirken zwei Kräfte in gerade entgegengesetzter Richtung gleichzeitig auf einen Punkt, so hat die Mittelkraft die Richtung der gröfseren Kraft und ist gleich dem **Unterschiede** der beiden Kräfte.

In Zeichen: $R = P - P_1$, wenn $P > P_1$ ist.

Beides ist für Druck- oder Zugkräfte durch die Figuren 194 und 195 veranschaulicht, in denen die in n wirkenden Einzelkräfte durch eine Kraft R = Q ersetzt gedacht werden können (mo sei gleich on). *Linien, welche den Angriffspunkt, die Richtung und Gröfse von Kräften darstellen, heifsen* **Kraftlinien.**

Fig. 194.

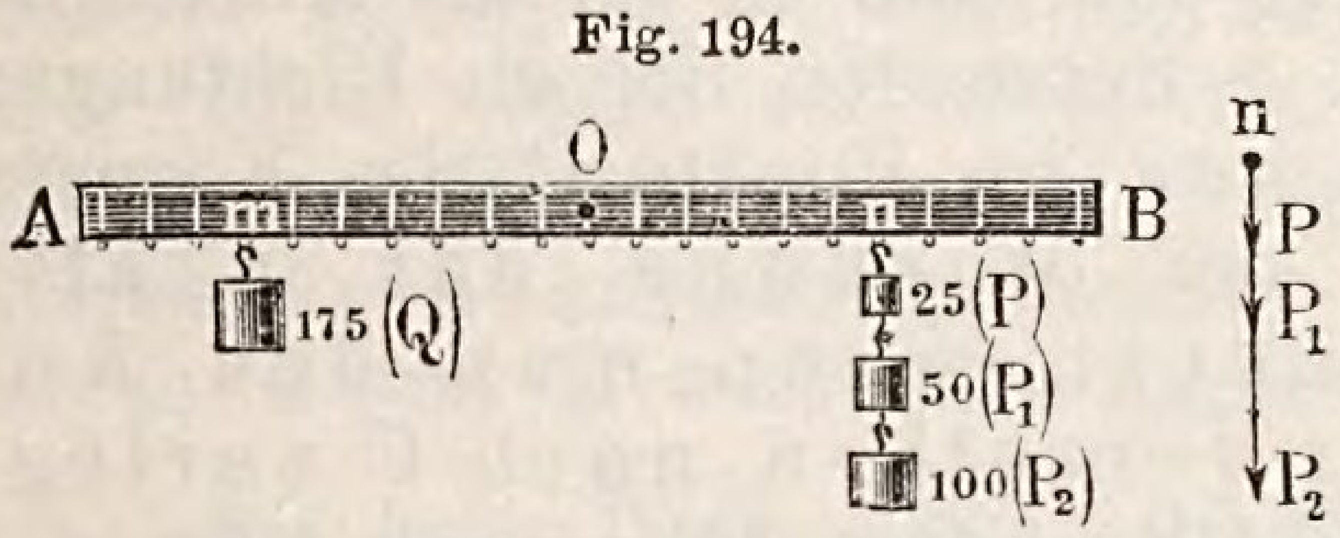
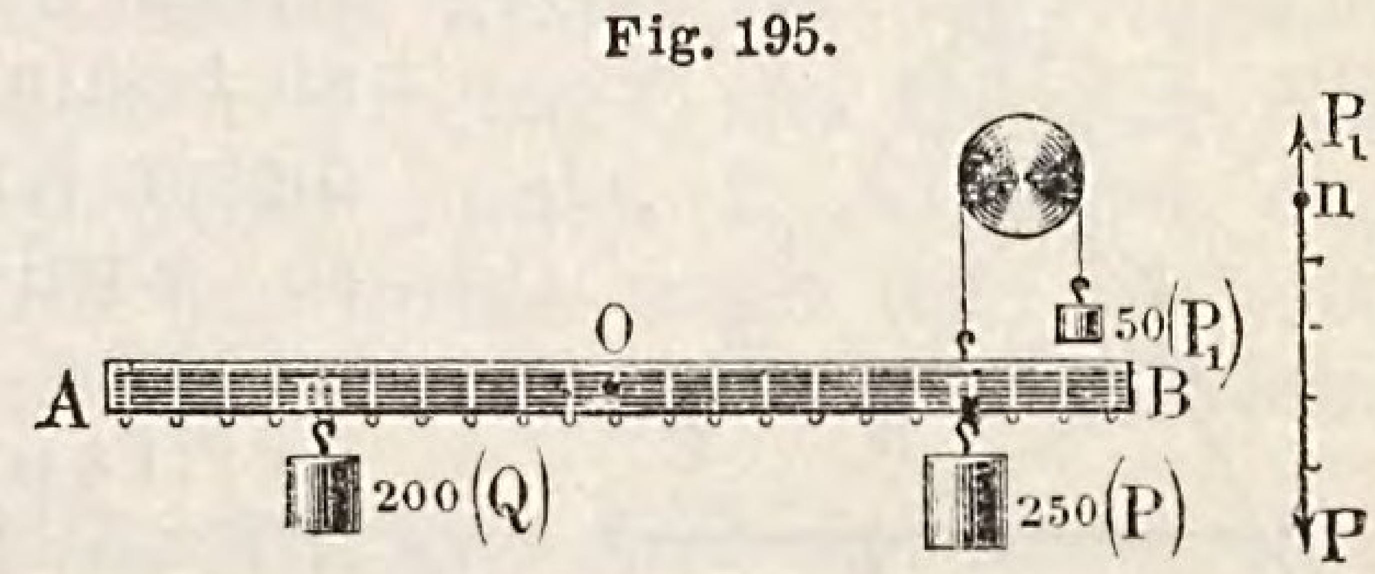


Fig. 195.

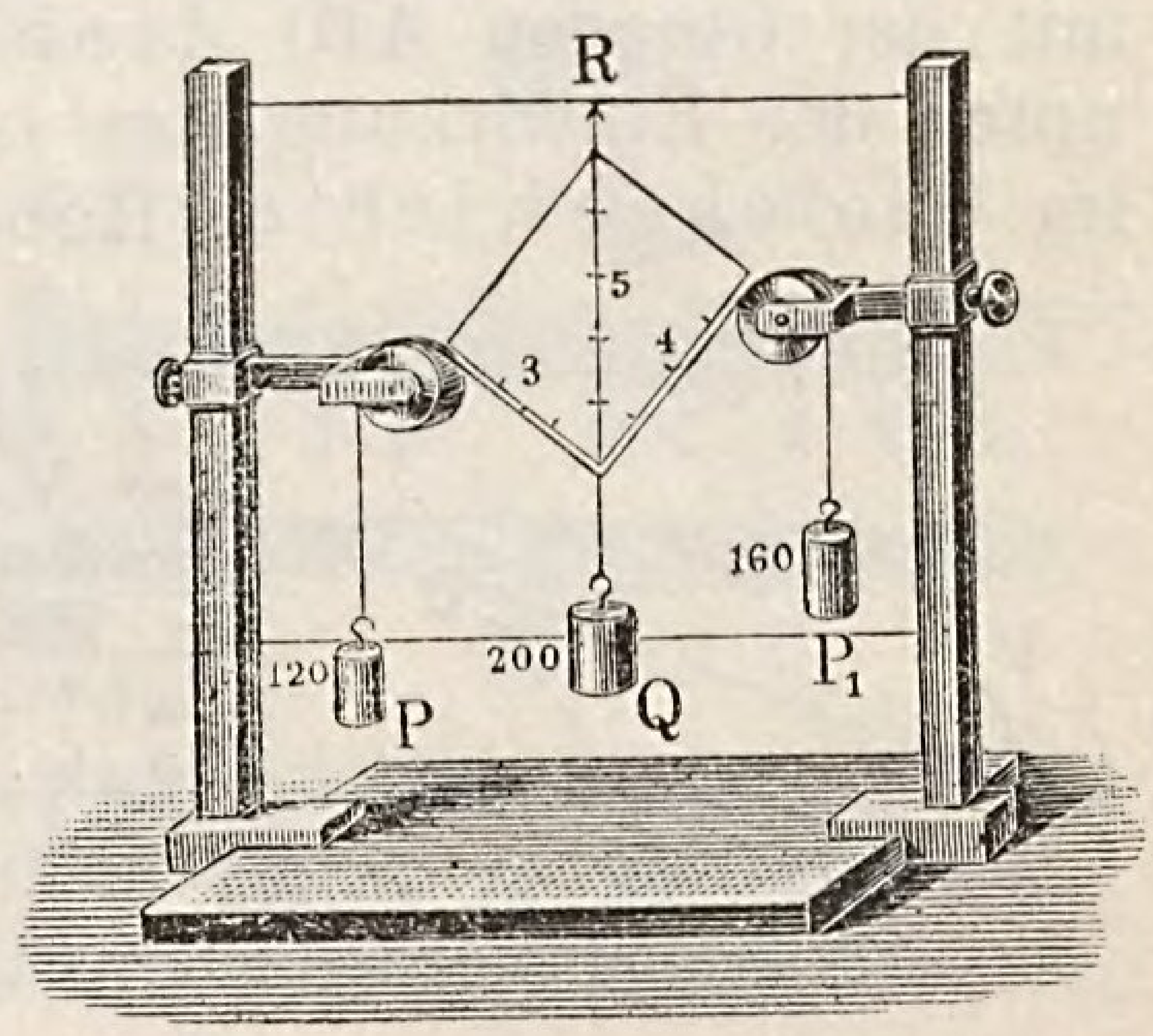


Aus obigem (2.) folgt, dafs zwei in demselben Punkte nach gerade entgegengesetzten Richtungen wirkende Kräfte einander das **Gleichgewicht** halten, wenn sie gleichgrofs sind.

2. Zusammensetzung von Kräften, welche denselben Angriffspunkt haben und einen Winkel einschliefsen.

Sieht man wie vorhin die Geraden, welche in Fig. 193 die Wege darstellen, als Kraftlinien an, so läfst sich die Richtung und Gröfse der Mittelkraft in Bezug auf die beiden Seitenkräfte unmittelbar daraus ableiten (in welcher Weise?). Das Parallelogramm der Bewegungen stellt dann ein Parallelogramm der Kräfte dar. Bestätigung:

Fig. 196.



Versuch. Wird eine über 2 Rollen gehängte Schnur an ihren Enden und zwischen den Rollen so belastet, dafs Gleich-

gewicht entsteht, so stellen die schrägen Schnurteile 2 anstofsende Seiten eines Parallelogramms dar, dessen senkrechte Diagonale sich zu diesen Seiten ebenso verhält, wie das mittlere Gewicht zu den entsprechenden Seitengewichten, wie sich leicht durch eine Zeichnung nachweisen läfst.

Wenn zwei Kräfte unter einem Winkel gleichzeitig auf eine Punkt einwirken, so wird die Richtung und Stärke ihrer Mittelkraft durch die Diagonale eines Parallelogramms dargestellt, dessen Seiten die Richtung und Stärke der Seitenkräfte ausdrücken. **(Parallelogramm der Kräfte.)**

Für den besonderen Fall, dafs der Winkel, unter welchem die Kräfte wirken, ein rechter ist, ist in Zeichen: $R = \sqrt{P^2 + P_1^2}$. †)

Für mehrere Kräfte läfst sich dadurch eine Mittelkraft finden, dafs man zunächt zwei Kräfte zusammensetzt, die erhaltene Mittelkraft mit der dritten Kraft vereinigt u. s. w.

3. Zusammensetzung von Kräften mit verschiedenen Angriffspunkten.

(Anwendung des Parallelogramms der Kräfte.)

a. Zwei sich schneidende Kräfte. Gesetzt, auf einen beliebigen festen Körper wirken in den Punkten A und B (Fig. 197) *in derselben Ebene, aber in verschiedener Richtung* die beiden Kräfte P und P_1 ein, und es sei die Mittelkraft zu bestimmen. — Schneiden sich die Richtungen dieser Kräfte etwa im Punkte C des Körpers, so wird an der Wirkung der Kräfte nichts geändert, wenn man den Angriffspunkt derselben nach C verlegt (CE = P und CF = P_1). Hierdurch läfst sich der gegebene Fall auf den einfacheren zurückführen, dafs beide Kräfte denselben Angriffspunkt haben. Das Parallelogramm CEDF ergiebt dann die *Mittelkraft* CD ††), deren Angriffspunkt ohne Änderung der Wirkung ebenfalls in ihrer eigenen Richtung beliebig verlegt werden kann. Wäre der Körper nun in irgend einem Punkte dieser Richtung (etwa in O, dem Durchschnittspunkte derselben mit der Geraden AB) drehbar befestigt, so befände er sich offenbar unter der Einwirkung der in A und B angreifenden Kräfte P und P_1 im Gleichgewichte (**Hebel**, vergl. § 68).

Fig. 197.

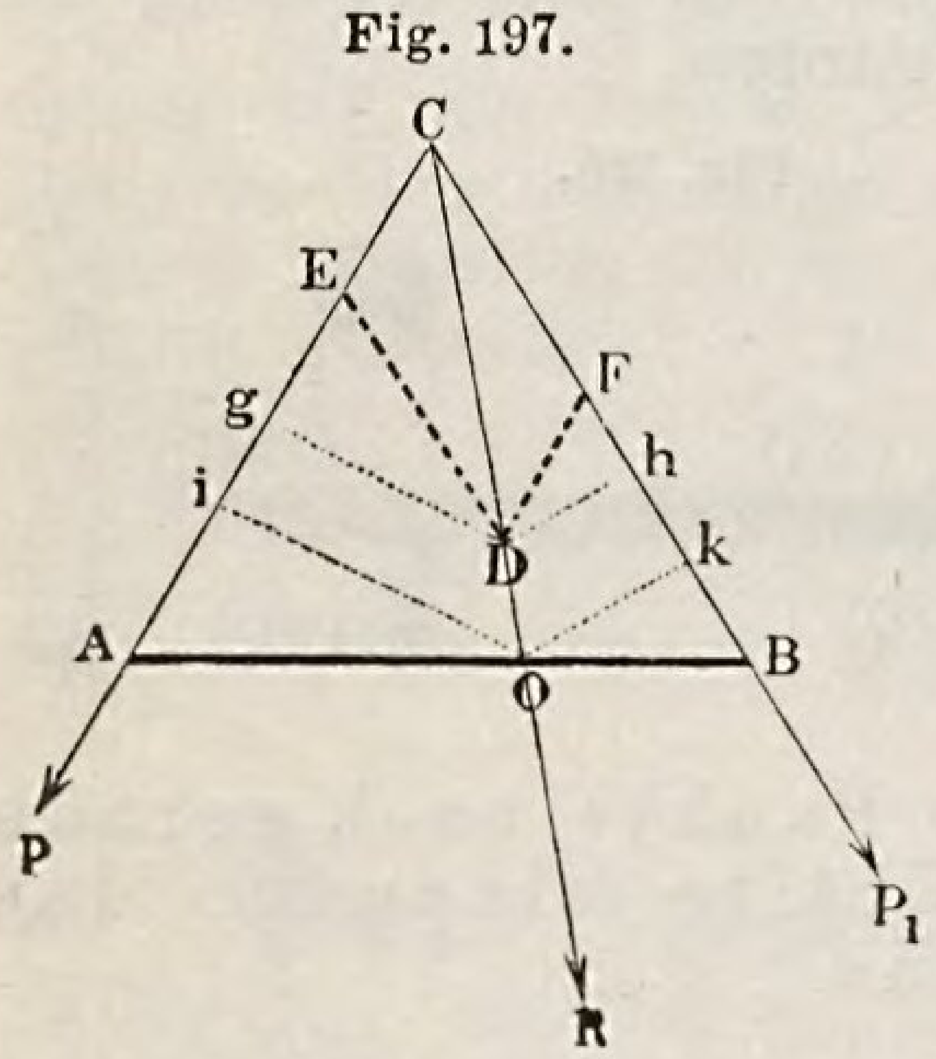
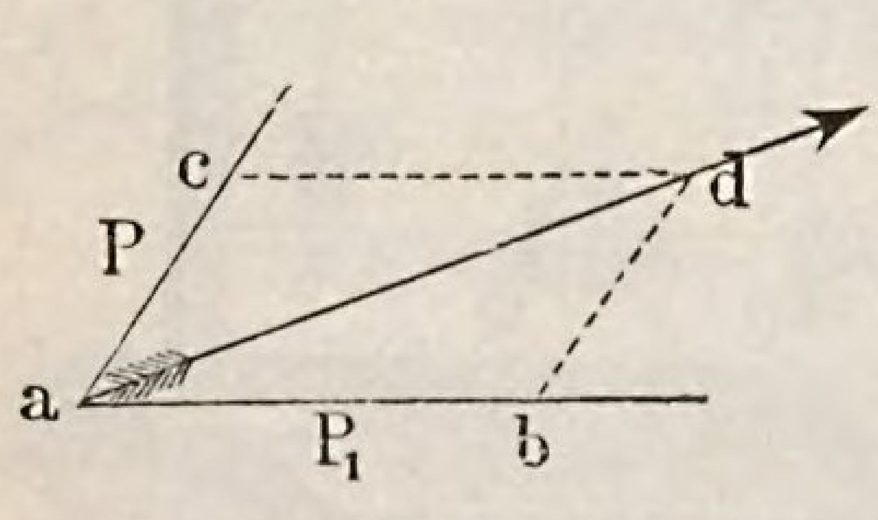


Fig. 198.



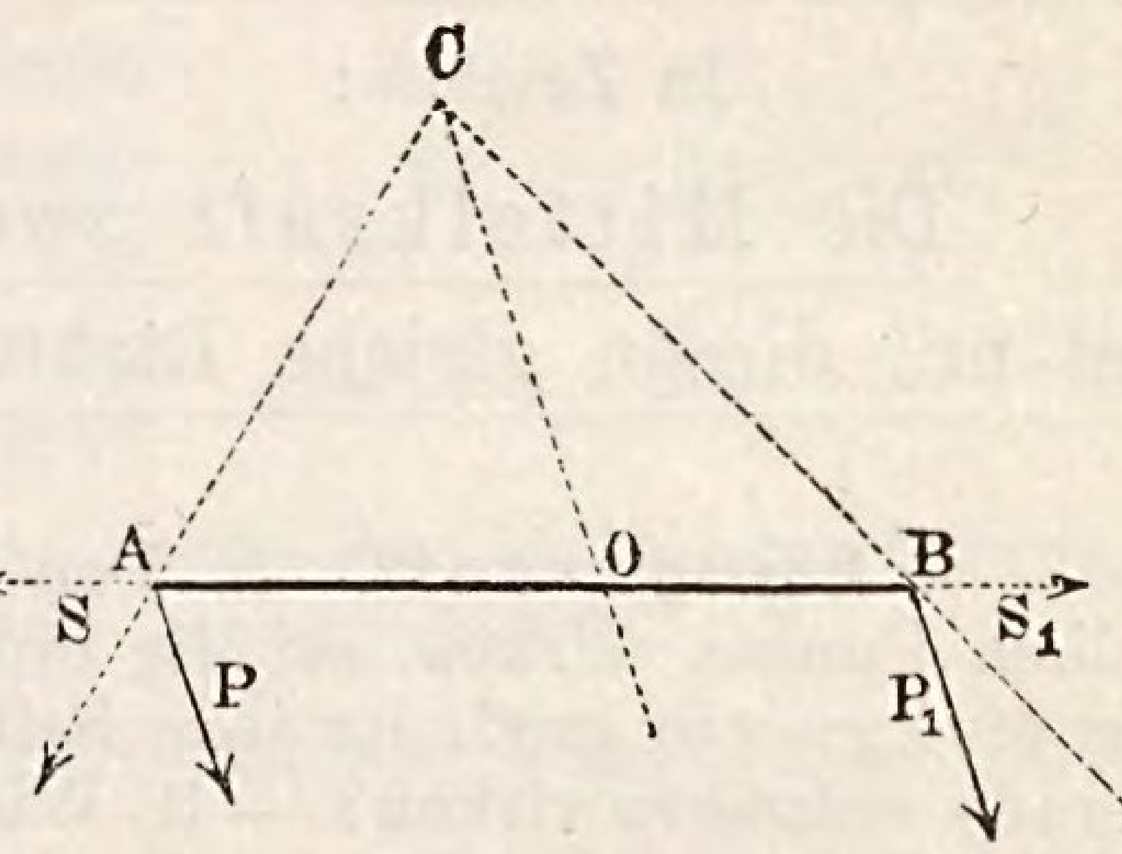
†) Trigonometrisch allgemein ausgedrückt: $R = \sqrt{P^2 + P_1^2 + 2P \cdot P_1 \cdot \cos w}$, wenn w den Winkel bezeichnet, unter welchem die Kräfte wirken, denn nach Fig. 198 ist $ad^2 = ab^2 + bd^2 - 2ab \cdot bd \cdot \cos \sphericalangle abd = ab^2 + ac^2 - 2ab \cdot ac \cdot \cos(180^0 - \sphericalangle cab) = ab^2 + ac^2 + 2ab \cdot ac \cdot \cos \sphericalangle cab$, weil minus $\cos(180^0 - \sphericalangle cab)$ = plus $\cos \sphericalangle cab$.

††) Trigonometrisch: $R = CD = \sqrt{P^2 + P_1^2 + 2P \cdot P_1 \cos w}$. (Siehe †) dieser Seite.)

Die vom Drehpunkte O auf die Kraftrichtungen gefällten Lote Oi und Ok verhalten sich hierbei umgekehrt wie die zugehörigen Kräfte selbst. Zieht man nämlich die Hülfslote Dg und Dh, so ist Ok : Oi = Dh : Dg = DF : DE = EC : FC = P : P_1, da Ok ∥ Dh, Oi ∥ Dg, △DhF ∾ △DgE u. s. w.

b. Zwei gleich gerichtete Kräfte. Sind die beiden *in derselben Ebene* auf den Körper wirkenden Kräfte *parallel und gleich gerichtet* (Fig. 199), so läfst sich die Mittelkraft ähnlich wie vorhin bestimmen. Wir nehmen zu diesem Zwecke zunächst wieder an, der Körper sei ganz frei beweglich. Um diesen Fall auf den vorigen zurückzuführen, kann man sich vorstellen, in A und B wirken noch 2 gleiche entgegengesetzte Kräfte (S und S_1) in der Richtung von AB. Dadurch wird an der Wirkung jener parallelen Kräfte nichts geändert. Setzt man dann die in A und B wirkenden Kräfte (P und S, P_1 und S_1) zu je einer Mittelkraft zusammen und verlegt darauf wie oben die Angriffspunkte beider Mittelkräfte nach C, indem man sich vorstellt, jedes der beiden Kräfteparallelogramme werde in der Richtung seiner Diagonale verschoben, so heben sich die beiden gerade entgegengesetzt gerichteten Seitenkräfte auf, während die beiden gleich gerichteten durch eine *Mittelkraft* ersetzt werden können, welche dieselbe Richtung hat und der Summe dieser Kräfte (P + P_1) gleich ist†) (Figur weiter auszuführen!). Ist nun der Punkt O der Geraden AB ein in der Richtung der Mittelkraft gelegener Punkt, in welchem der Körper drehbar befestigt sei, so entsteht wie vorhin unter dem Einflufs der in A und B wirkenden Kräfte P und P_1 Gleichgewicht **(Hebel).**

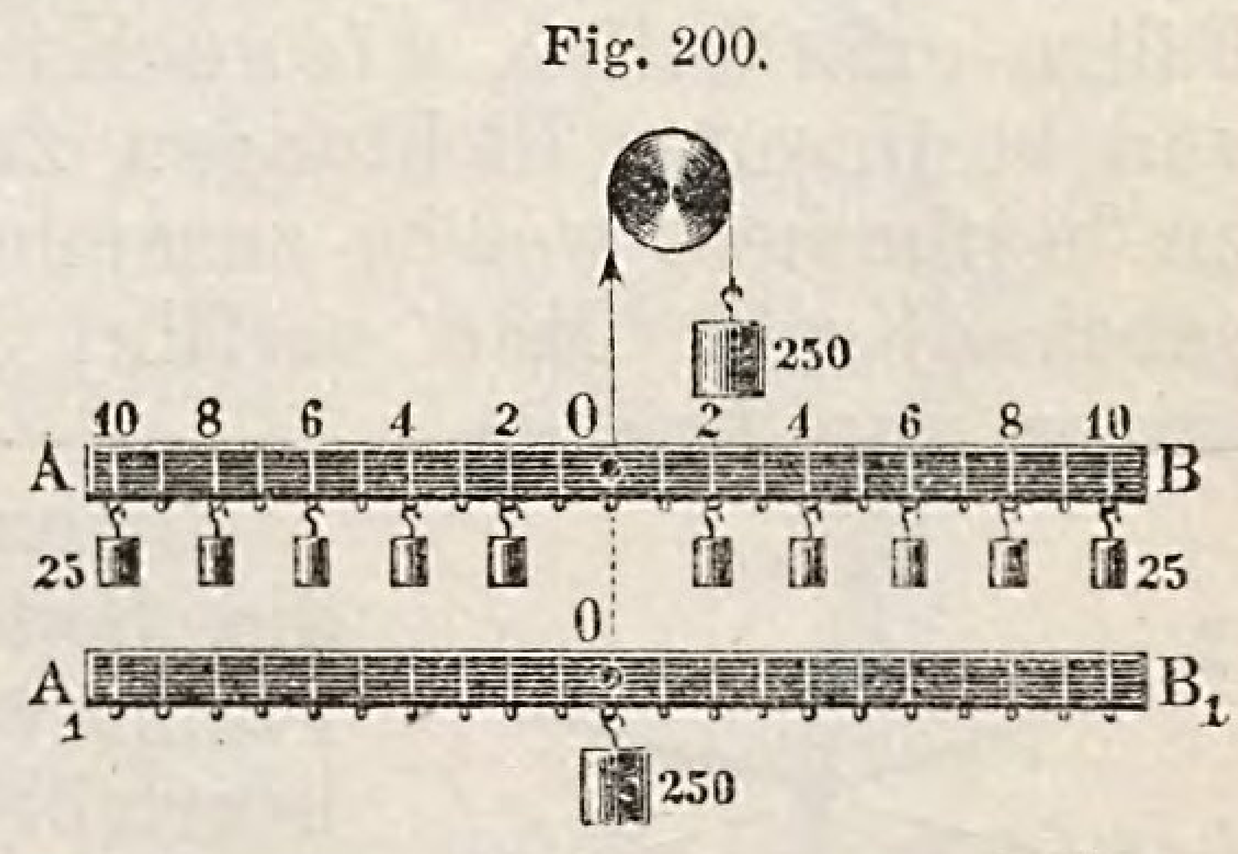
Fig. 199.



Die vom Drehpunkte auf die Kraftrichtungen gefällten Lote verhalten sich auch hierbei wieder umgekehrt wie die zugehörigen Kräfte. Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke der an A und B zu zeichnenden Parallelogramme mit den anstofsenden Dreiecken CAO und CBO folgt nämlich S : P = AO : CO und S_1 : P_1 = BO : CO. Da nun S . CO = S_1 . CO (denn S = S_1), so ist auch P . AO = P_1 . BO oder P : P_1 = BO : AO = L_1 : L (Lote von O auf die Richtungen der Kräfte).

Dies findet für den besonderen Fall, dafs die Kräfte unter rechten Winkeln auf einen wagerechten Stab einwirken, nach Anleitung von Fig. 200 darin seine Bestätigung, dafs von den gleichen Gewichten, welche auf den frei an einer festen Rolle hängenden Hebel AB wirken, sich je 2 durch ein im Drehpunkte aufgehängtes Gewicht ersetzen lassen, welches der Summe der beiden Gewichte gleich ist. Eine Belastung des Hebels mit ungleichen Gewichten ergiebt

Fig. 200.



†) Trigonometrisch: Ist P ∥ P_1, so verwandelt sich die Gleichung:
$R = \sqrt{P^2 + P_1^2 + 2P.P_1 . \cos w}$ (siehe vorige Seite unten) in die einfachere:
$R = \sqrt{P^2 + P_1^2 + 2P.P_1} = P + P_1$, da für diesen Fall ∢w = Null und cos 0 = 1 ist.

dasselbe, wenn die Abstände vom Drehpunkte für je 2 Gewichte sich umgekehrt wie diese verhalten.

Bezeichnet man die auf den drehbaren Körper wirkenden Seitenkräfte wegen ihrer Wirkung als Drehkräfte, so folgt:

Zwei Drehkräfte halten einander das Gleichgewicht, wenn ihre Mittelkraft durch den Drehpunkt des Körpers geht. Dies findet statt, wenn sich die Kräfte umgekehrt verhalten, wie die vom Drehpunkte auf ihre Richtungslinien gefällten Lote.

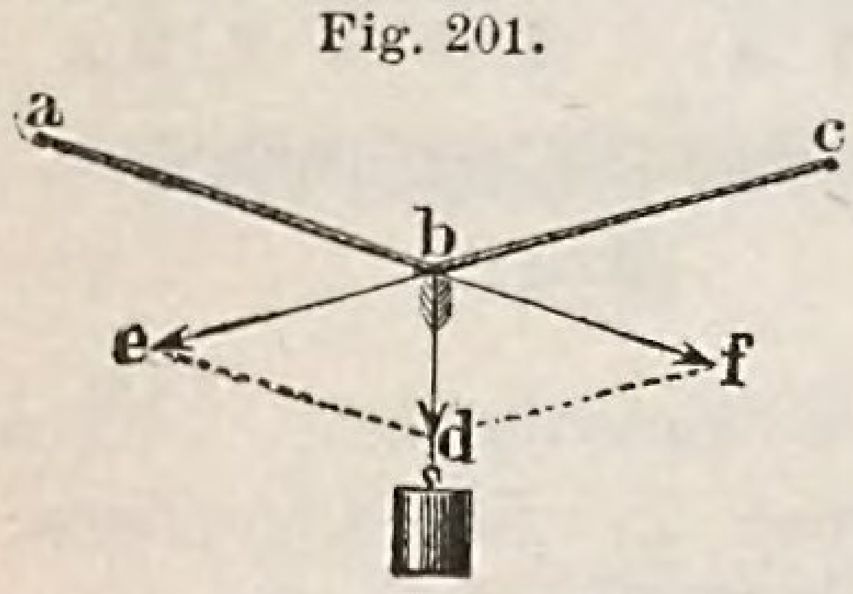
In Zeichen: $P : P_1 = L_1 : L.$

Die Mittelkraft zweier parallel und gleich gerichteten Kräfte hat mit diesen gleiche Richtung und ist der Summe derselben gleich.

Übungsstoff. 1. Von zwei gleich gerichteten Kräften, welche in demselben Punkte wirken, sei die eine doppelt so grofs als die andere, ihre Mittelkraft sei 60 kg: wie grofs ist jede Seitenkraft? — 2. Wie grofs aber, wenn sie einander gerade entgegenwirken? — 3. Wie ändert sich die Gröfse der Mittelkraft zweier auf einen Punkt wirkenden Kräfte, wenn letztere zunächst gleich gerichtet sind, und darauf ihre gegenseitige Richtung so ändern, dafs sie entgegengesetzte Richtungen erhalten? — 4. Wie ferner die Richtung, wenn die Seitenkräfte etwa einen spitzen Winkel einschliefsen und beide zunächst gleich sind, eine derselben darauf aber ihre Gröfse ändert? — 5. Warum ist es für die Wirkung nicht gleichgültig, in welchen Abständen die einen Rammbär aufziehenden Arbeiter voneinander stehen? — 6. Ein angehauener Baum soll mit mehreren Seilen niedergezogen werden. Welchen Einflufs hat dabei a. die Höhe, in welcher die Seile befestigt sind, b. der Winkel, welchen die Seile mit dem Baumstamme einschliefsen, c. die Richtung, welche die Zuglinien gegeneinander haben? — 7. Von 2 Kräften, welche auf denselben Punkt wirken und einen rechten Winkel einschliefsen, sei die eine gleich 15, die andere gleich 20 kg; wie grofs ist ihre Mittelkraft? — 8. Welchen Druck erleiden die Drehungsachsen der in den Fig. 22 und 23 dargestellten Hebel durch die an letzteren wirkenden Gewichte? — 9. In welchem Punkte mufs ein gerader unbiegsamer Stab von 80 cm Länge und gleichmäfsiger Dicke unterstützt werden, wenn an dessen einem Ende 10 kg, am andern 15 kg hängen und Glgew. entstehen soll? (Mittelkraft!) — 10. Angriffspunkt und Gröfse der Mittelkraft bei den Rollen? — 11. Welchen Zug erleiden die beiden oberen Haken (Fig. 29) durch P und Q? (P = 1 kg.)

§ 65. Zerlegung der Kräfte. Um die Wirkung einer einzelnen gegebenen Kraft richtig beurteilen zu können, ist es in manchen Fällen erforderlich, diese Kraft in zwei oder mehrere Kräfte von bestimmten Richtungen zu zerlegen, d. h. zwei oder mehrere Kräfte zu bestimmen, welche zusammen dieselbe Wirkung haben, wie die gegebene Kraft. Man verfährt hierbei umgekehrt wie beim Zusammensetzen von Kräften.

Fig. 201.

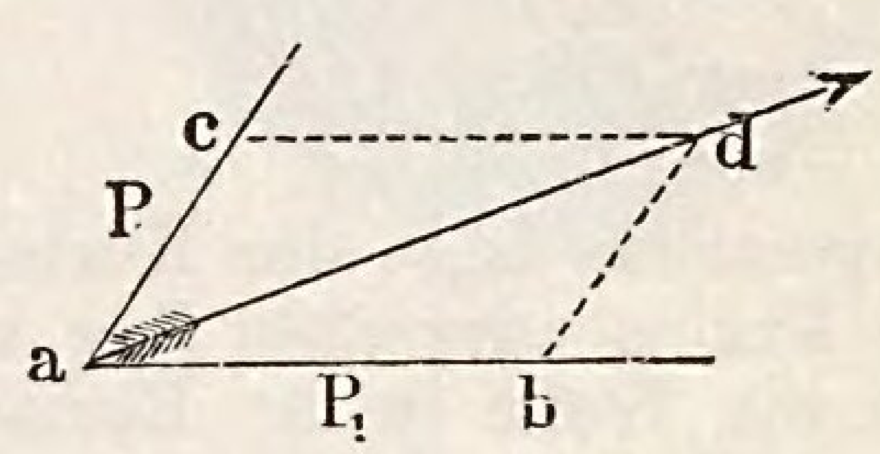


Von besonderer Wichtigkeit ist der Fall, dafs die Seitenkräfte unter einem Winkel auf einen Punkt wirken. Sollte z. B. die Stärke des Zuges beurteilt werden, welchen die beiden Aufhängepunkte a und c des Seiles abc (Fig. 201) durch die in der Mitte b desselben hängende Last von etwa 50 kg erleiden, so könnte man sich vorstellen,

dafs jeder Teil des Seiles durch eine besondere, in b wirkende Kraft angezogen würde. Stellt etwa bd die Richtung und Gröfse der senkrecht abwärts gerichteten Zugkraft dar, so erhält man die Gröfse der Seitenkräfte, wenn man ab und cb über b hinaus verlängert und zu diesen Linien durch d Parallelen gezogen denkt. Wie nun in dem dadurch entstehenden Parallelogramme bedf die Seiten be und bf sich zur Diagonale bd verhalten, ebenso verhält sich nach dem vorigen Paragraphen der Zug, welchen die Punkte a und c erleiden, zu jenem Gewichte. Wäre etwa eb = bf = 2bd, so betrüge der Zug links und rechts je 100 kg.

In Fig. 202 ist eine Kraft (R = ad) in zwei Seitenkräfte zerlegt, welche einen spitzen Winkel einschliefsen. Wie ist die Zeichnung auszuführen, wenn 1) nur die Richtung, 2) nur die Gröfse der beiden Seitenkräfte, 3) die Richtung und Gröfse von nur einer Seitenkraft gegeben ist?

Fig. 202.



Bem. Die Mittelkraft ist in diesen und den späteren Abbildungen gewöhnlich durch Befiederung der sie darstellenden Geraden hervorgehoben.

Eine Kraft wird in zwei einen Winkel einschliefsende Seitenkräfte zerlegt, indem man ein Parallelogramm zeichnet, in welchem die Diagonale die gegebene Kraft und die anstofsenden Seiten die zu suchenden Kräfte darstellen.

Übungsstoff. 1. Das Seil abc, Fig. 201, laufe in c über eine feste Rolle und sei hier so belastet, dafs Glgew. entsteht. Was wird eintreten, wenn man die Rolle 1) dem Punkte a nähert, 2) weiter von a entfernt? Erkl.! (Das mittlere Gew. sei an einer losen Rolle aufgehängt und werde nicht verändert.) — 2. Gröfse und Verhältnis der Seitenkräfte nach Wiederherstellung des Glgew.; geringste Belastung des freien Seilendes? — 3. Kann abc eine gerade Linie bilden? Grund! — 4. Wie ändert sich in Fig. 202 die Mittelkraft, wenn der Winkel, welchen P und P_1 einschliefsen, a. kleiner, b. gröfser wird? — 5. Weise durch Zeichnung nach, dafs eine in schräger Richtung auf eine wagerechte Fläche drückende Kraft niemals einen senkrechten Druck hervorrufen kann, welcher der vollen Gröfse der Kr. gleich ist. (Zerlegung in 2 Seitenkräfte.) Einflufs der Gröfse des Winkels auf das Gröfsenverhältnis der Kräfte! — 6. Welchen Einflufs hat die Richtung zweier Dachsparren auf das Verhältnis des senkrechten Druckes zum wagerechten Schube. (Druck in der Richtung der Sparren als gleich angenommen.) — 7. An einem Schlitten, Fig. 203, sei die Zuglinie nach vorn schräg aufwärts, an einem Wagen schräg abwärts gerichtet. Wie läfst sich ermitteln, mit welcher Kr. das Fahrzeug im Verhältnis zur Zugkraft auf wagerechter Strafse fortbewegt wird, und wie grofs der Druck oder Schub ist? — 8. Erkläre hiernach den Einflufs der Gröfse des Winkels in Frage 6b (§ 64). — 9. Fig. 204 stellt eine Kniepresse dar. Zwei Metallstangen sind durch ein Gelenk miteinander verbunden. Die eine derselben drückt gegen ein festes, unbewegliches Widerlager, die andere auf einen zu pressenden Gegenstand, wenn eine Kraft P in wagerechter Richtung auf das Gelenk einwirkt. Es soll der Druck bestimmt werden, welcher dadurch auf die Unterlage ausgeübt wird: a. in der Richtung der Stange selbst, b. in senkrechter Richtung. (2malige Kraftzerlegung; man zerlege die Seitenkraft bd in eine horizontale und eine senk-

Fig. 203.

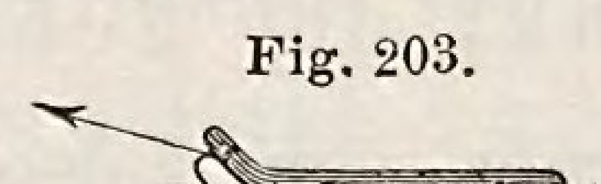
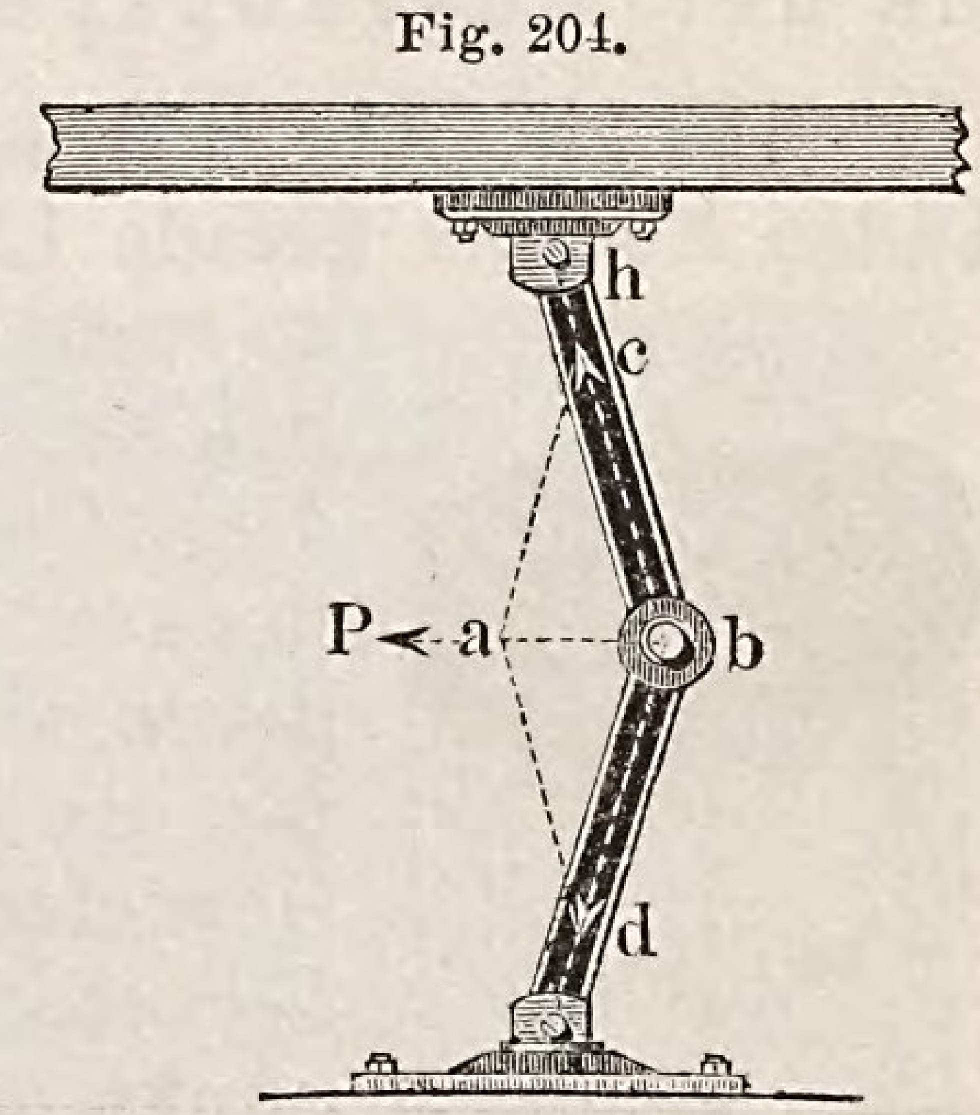


Fig. 204.



rechte Seitenkraft.) Wie ändert sich die Wirkung, indem sich die beiden Stangen mehr und mehr der geradlinigen Verbindung ihrer äufseren Endpunkte nähern? — **10.** Erkläre Fig. 205, in welcher ein Segelboot dargestellt sei; op bezeichne die Kraft des Windes, or die Kraft, mit welcher das Boot durch den Wind kielwärts fortbewegt wird. (2malige Kraftzerlegung; der Seitendruck oq wird durch den Widerstand des Wassers aufgehoben.) — **11.** AB, Fig. 206, stelle eine Kurbel dar, mit welcher die Stange BD zum Drehen der Welle A durch ein Gelenk verbunden sei. a. Es soll zunächst für die dargestellte Lage der Kurbel das Verhältnis angegeben werden, in welchem der auf die Kurbel ausgeübte Zug zu der drehenden Wirkung, sowie zu dem Drucke steht, den die Welle in der Richtung der Kurbel erleidet; b. ferner ist durch Zeichnung zu ermitteln, wie sich jenes Verhältnis bei einer Drehung der Kurbel ändert. Bei welchen beiden Kurbelstellungen kann mittelst der Stange BD keine Drehung bewirkt werden, u. w.? (Tote Punkte.)

Fig. 205.

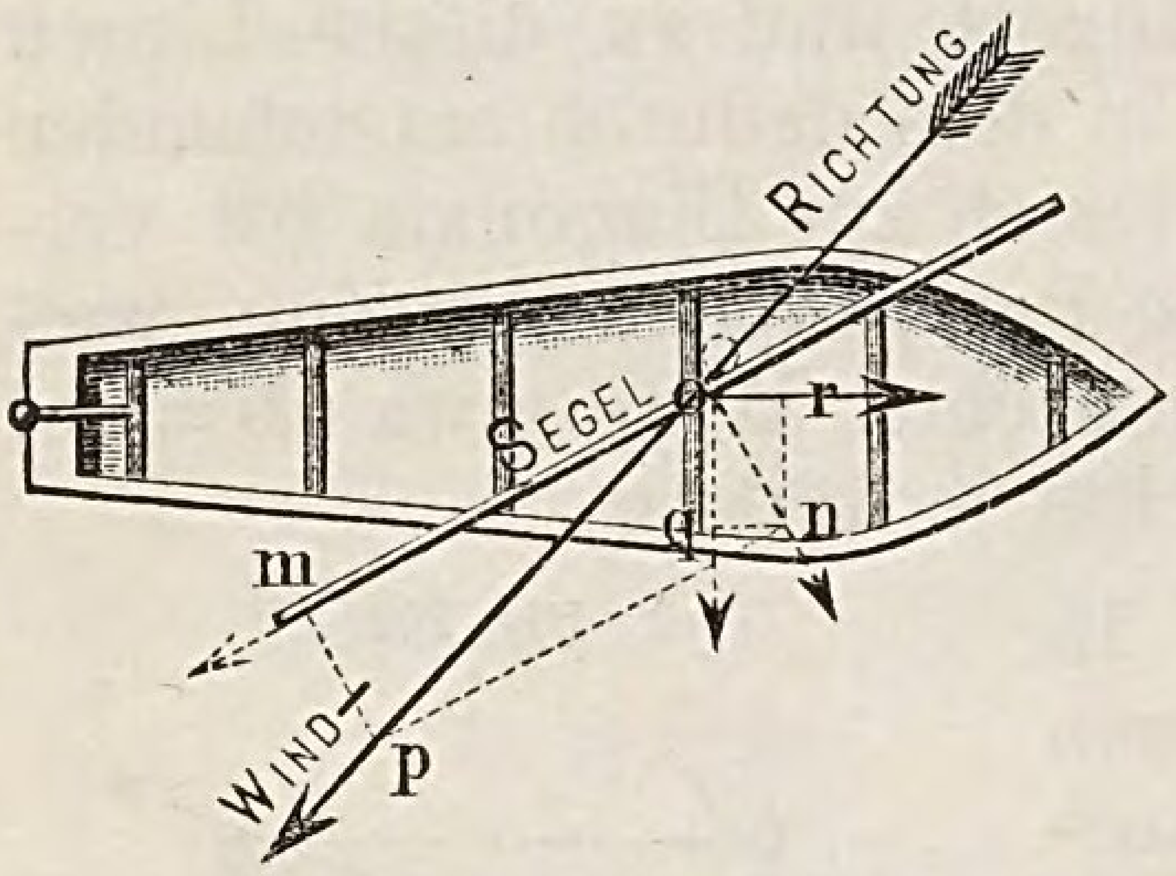
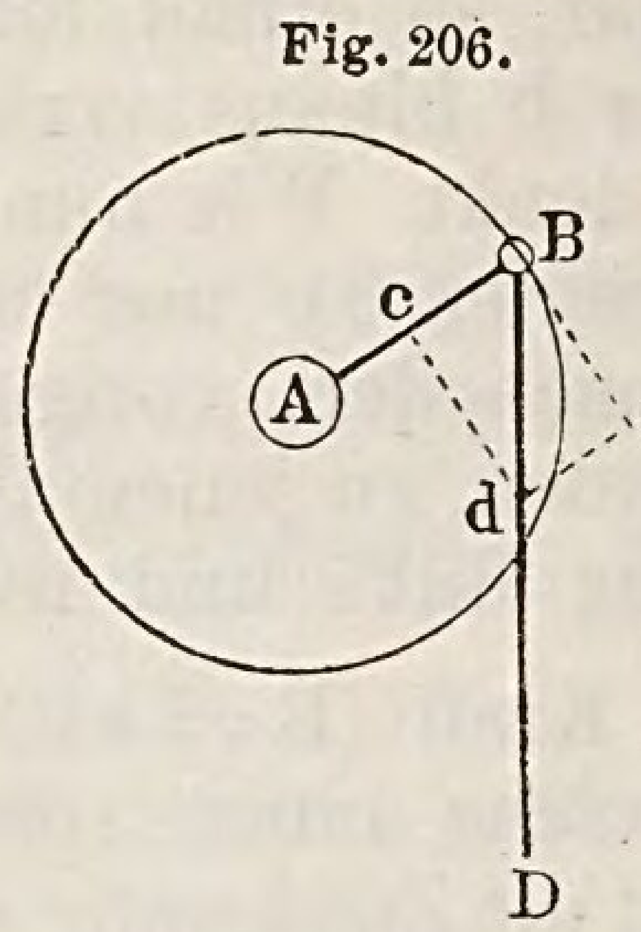


Fig. 206.



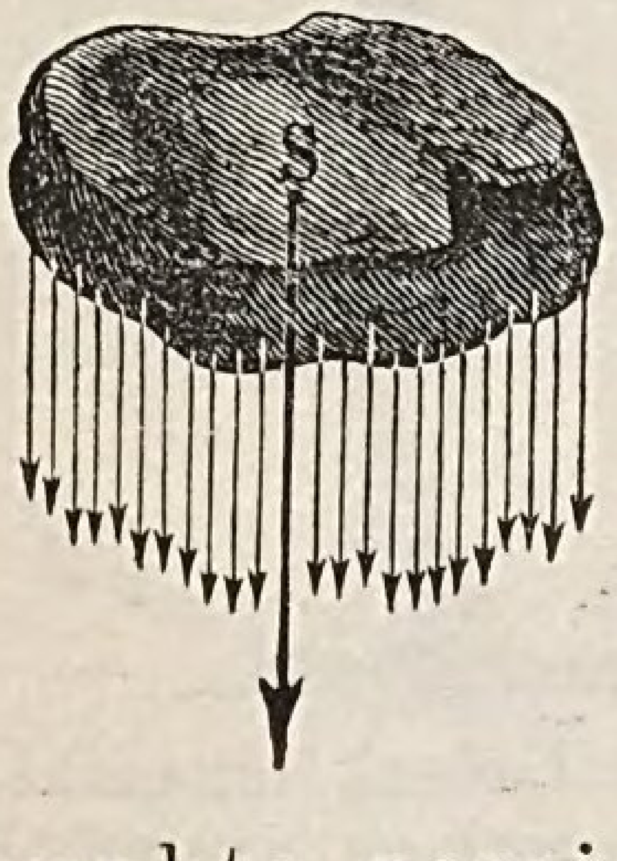
c. Vom Schwerpunkte.

§ 66. Schwerpunkt und Gleichgewichtslagen.

a. Schwerpunkt. Aus der Wirkung paralleler Kräfte wird nunmehr auch die Richtung des durch die Schwerkraft bewirkten Druckes und Zuges erklärlich. Nach § 56 nämlich kann die anziehende Wirkung, welche die Erde auf einen Körper ausübt, als das Ergebnis von dem Zusammenwirken aller Massenteilchen der Erde angesehen werden. Stellen wir uns nun vor, die Masse des Erdkörpers sei gleichmäfsig verteilt und die Erde sei eine vollkommene Kugel, so liegen nach allen Seiten eines in der Druck-, Zug- oder Fallrichtung gezogenen Durchmessers der Erde gleichviele anziehende Teilchen, deren Einzelkräfte sich paarweise zu einer Mittelkraft vereinigen lassen, welche mit dem gedachten Durchmesser zusammenfällt. D e r M i t t e l p u n k t d e r E r d e m u f s d a h e r a l s d e r A u s g a n g s p u n k t d e r S c h w e r k r a f t e r s c h e i n e n.

Denkt man sich ferner von jedem Massenteilchen eines frei fallenden Körpers gerade Linien nach dem Mittelpunkte der Erde gezogen, so stellt jede derselben die Richtung der auf ein Massenteilchen wirkenden Schwerkraft vor (Fig. 207). Da alle diese Geraden bei der grofsen Entfernung des Erdmittelpunktes als parallel angesehen werden können, so ergeben sie nach § 64 eine Mittelkraft, deren Gröfse gleich der S u m m e der parallelen Kräfte, d. h. gleich dem Gewichte des Körpers ist. *Der im Innern des Körpers liegende Angriffspunkt dieser Mittelkraft wird* **Schwerpunkt** *des Körpers genannt.* Man kann sich demnach d a s G e w i c h t e i n e s K ö r p e r s i n s e i n e m S c h w e r p u n k t e v e r e i n i g t denken. — Die Lage des Schwerpunktes läfst sich im allgemeinen am einfachsten durch den Versuch ermitteln.

Fig. 207.



Versuch. Hängt man einen Körper in mehreren Punkten seiner Oberfläche nacheinander an einem Faden auf, so schneiden sich die Richtungslinien der Schwere in demselben Punkte, was sich bei einem scheibenförmigen Körper leicht durch Linien, bei einem Körper, welcher sich nach allen Richtungen des Raumes ziemlich gleichmäſsig ausdehnt, durch Stäbchen, die durch den Körper hindurchzustecken sind, nachweisen läſst (Fig. 208 und 209). Vergröſsert man die Masse des Körpers an einer beliebigen Stelle, so rückt der Schwerpunkt nach dieser Stelle hin. Aus obigem folgt zugleich:

Fig. 208.

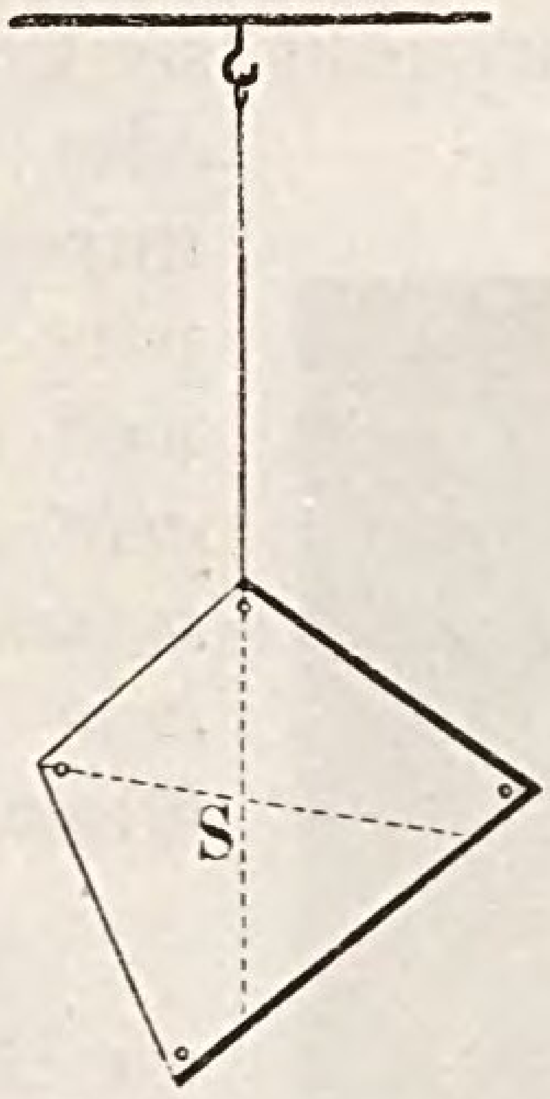
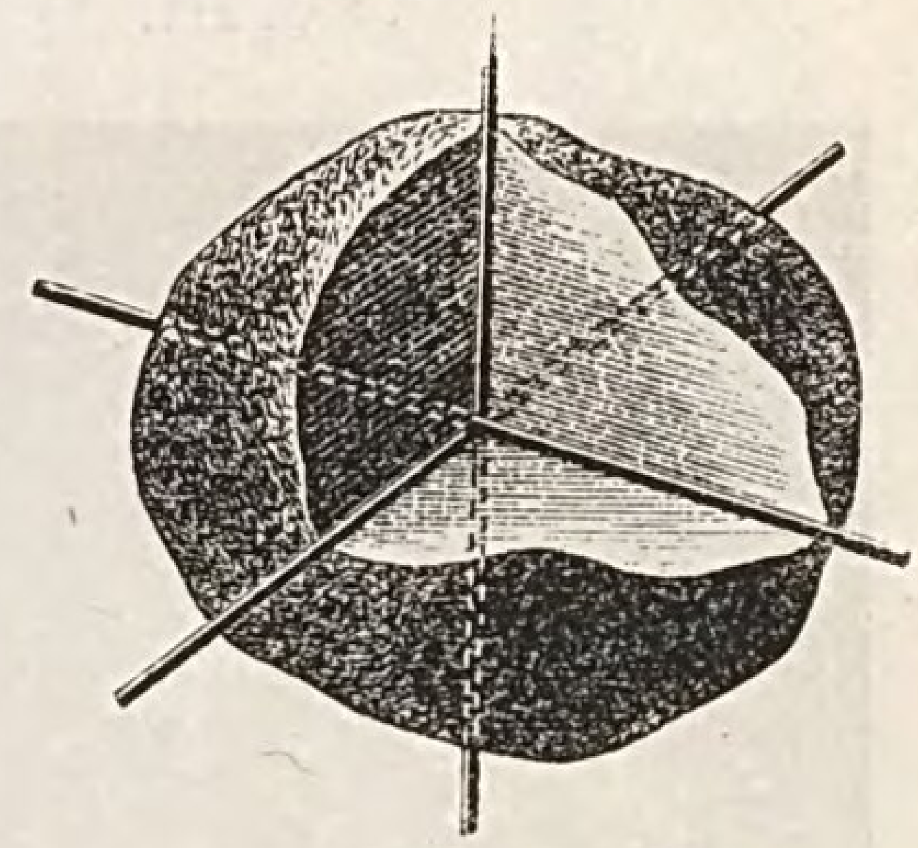


Fig 209.



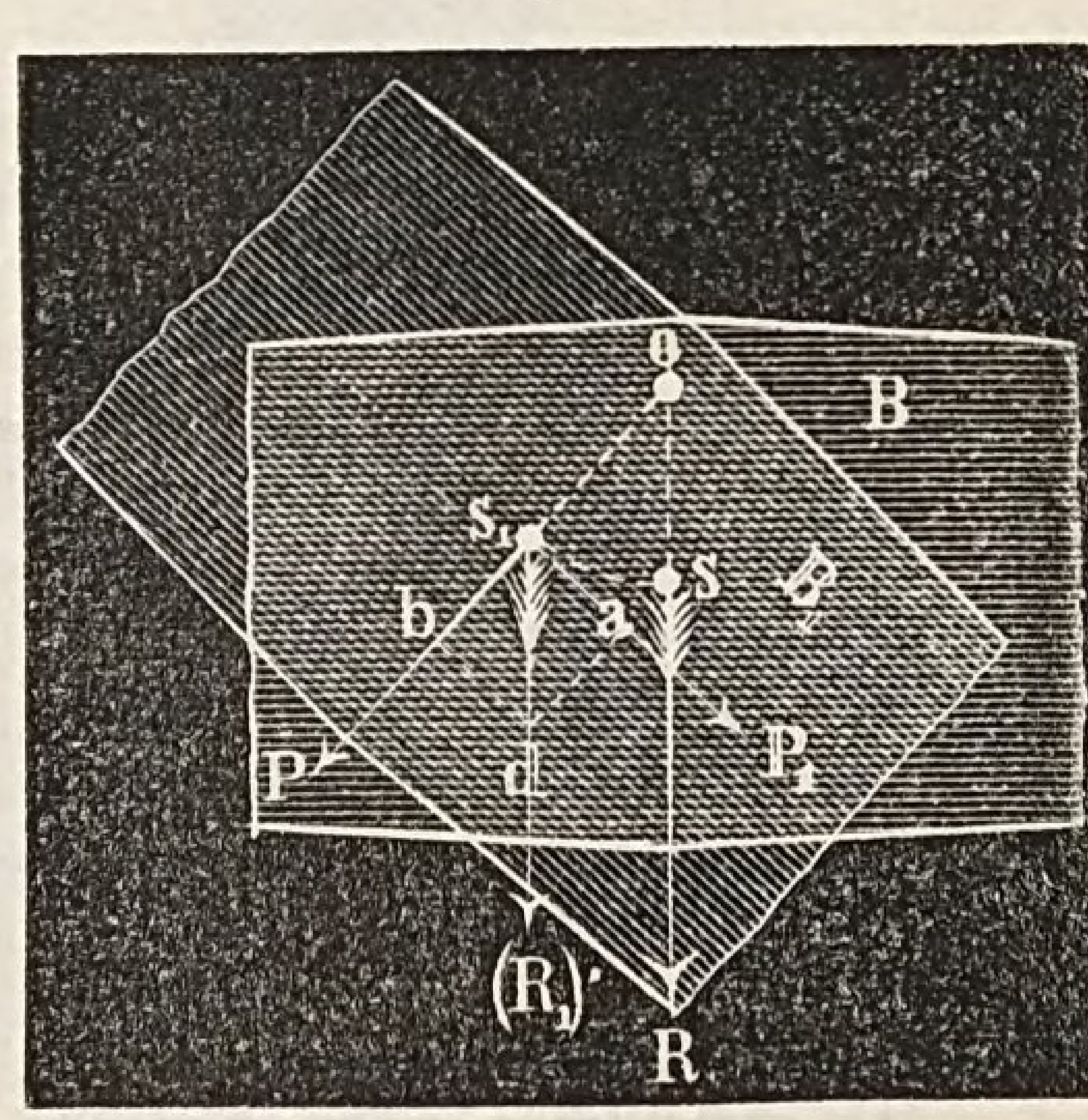
Ist ein Körper in seinem Schwerpunkte unterstützt, so befindet er sich in jeder Lage im Gleichgewichte.

Die Lage des Schwerpunktes hängt von der Verteilung der Masse des Körpers ab. Ist die Masse gleichmäſsig verteilt, so fällt bei regelmäſsig gestalteten Körpern der Schwerpunkt mit ihrem geometrischen Mittelpunkte zusammen; er liegt also bei Scheiben von der Form eines Parallelogramms und bei Würfeln im Durchschnittspunkte der Diagonalen, bei kreisförmigen Scheiben und Kugeln im Centrum u. s. w. Bei ungleicher Verteilung der Masse des Körpers liegt der Schwerpunkt stets an derjenigen Seite, an welcher die gröſsere Masse sich befindet.

b. Gleichgewichtslagen. Wird ein Körper (B, Fig. 210 und 211) auſserhalb seines Schwerpunktes in einem Punkte (O) oder einer geraden Linie (Achse) drehbar unterstützt, so kann er sich nach obigem nur dann im Gleichgewichte befinden, wenn die durch seinen Schwerpunkt gehende Senkrechte den Unterstützungspunkt oder die Achse trifft. Hierbei können, wie sich leicht durch Versuche nachweisen läſst, je nach der Lage, welche der Schwerpunkt gegen den Drehungspunkt oder die Drehungsachse einnimmt, folgende beiden Fälle eintreten:

1. Liegt der Schwerpunkt senkrecht unter dem Aufhängepunkte oder der Drehungsachse, so geht er, wenn der Körper aus seiner Gleichgewichtslage gebracht wird, in eine höhere Lage über (S und S_1, Fig. 210). *Sich selbst überlassen, fällt der Körper nach jeder Bewegung wieder in die ursprüngliche Lage zurück:* **stabile**[1]) oder **sichere Gleichgewichtslage.** Dies wird erklärlich, wenn man sich die in S_1 angreifende senkrecht abwärts wirkende Kraft (R_1) durch das Parallelogramm $s_1 b d a$ in die beiden Seitenkräfte P und P_1 zerlegt denkt, von

Fig. 210.

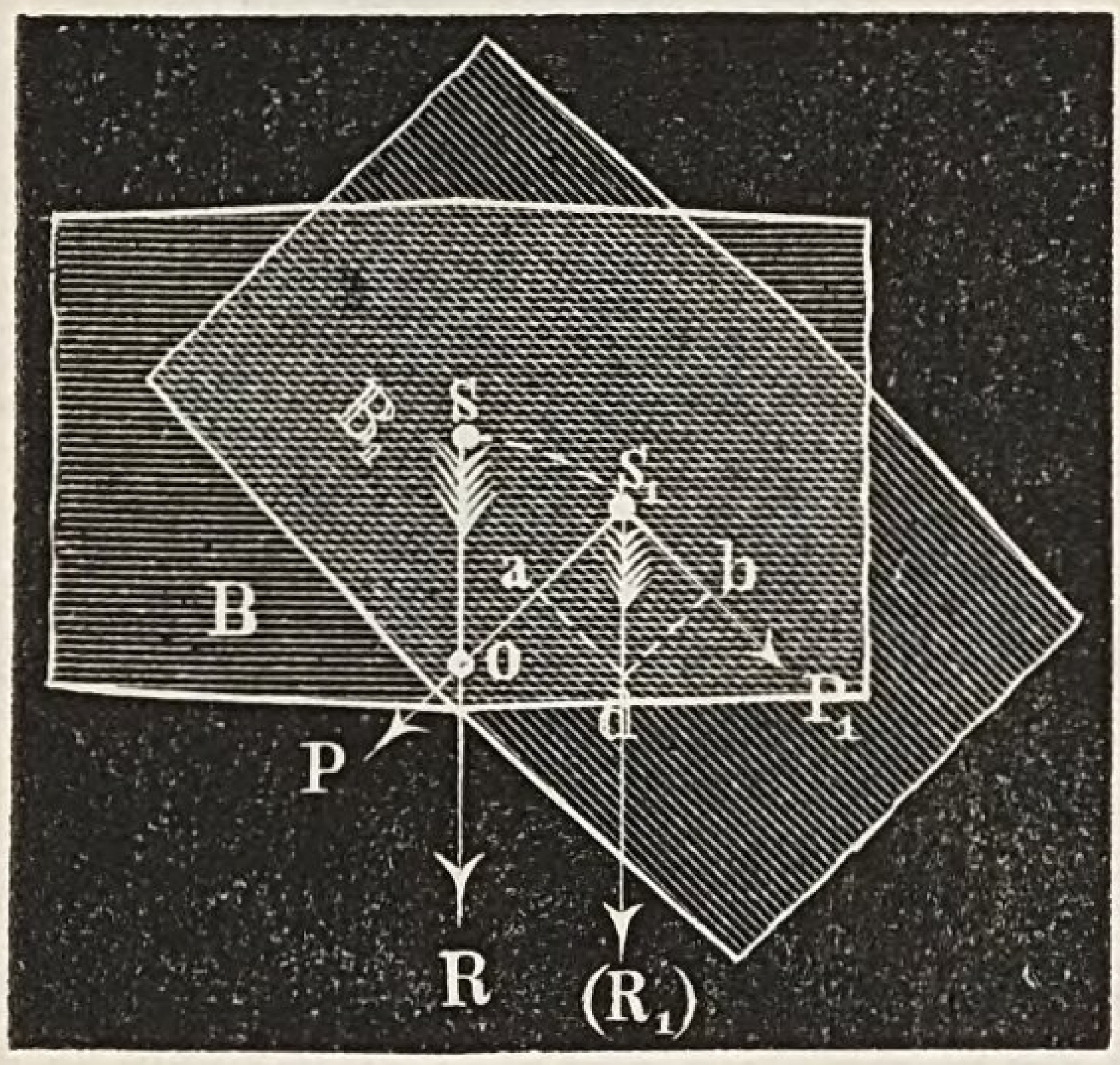


[1]) stabĭlis, unveränderlich.

denen die erstere durch den Widerstand der Achse aufgehoben wird, die andere den Körper so zu drehen strebt, dafs der Schwerpunkt nach S zurückgeht.

2. Liegt der Schwerpunkt senkrecht über dem Aufhängepunkte oder der Drehungsachse, so nimmt er durch den geringsten Anstofs des Körpers eine immer tiefere Lage ein (S und S_1, Fig. 211). *Bei einer Drehung geht der Körper aus seiner ursprünglichen Lage in die sichere Gleichgewichtslage über:* **labile**[1]) oder **unsichere Gleichgewichtslage.** Erkläre die Figur!

Fig. 211.



Fällt der Unterstützungspunkt oder die Drehungsachse mit dem Schwerpunkte zusammen, oder ändert der Schwerpunkt bei einer Drehung des Körpers überhaupt seine Lage gegen den Unterstützungspunkt nicht (Kugel auf wagerechter Unterlage), so ist der Körper *bei jeder neuen Lage immer wieder im Gleichgewichte:* **indifferente**[2]) **Gleichgewichtslage.** Bei dieser Gleichgewichtslage findet also bei der Drehung des unterstützten Körpers weder eine Hebung, noch eine Senkung seines Schwerpunktes statt.

Man kann hiernach den Schwerpunkt auch als denjenigen Punkt bezeichnen, in welchem ein Körper unterstützt werden mufs, damit er sich in jeder Lage im Gleichgewicht befindet.

Fig. 212.



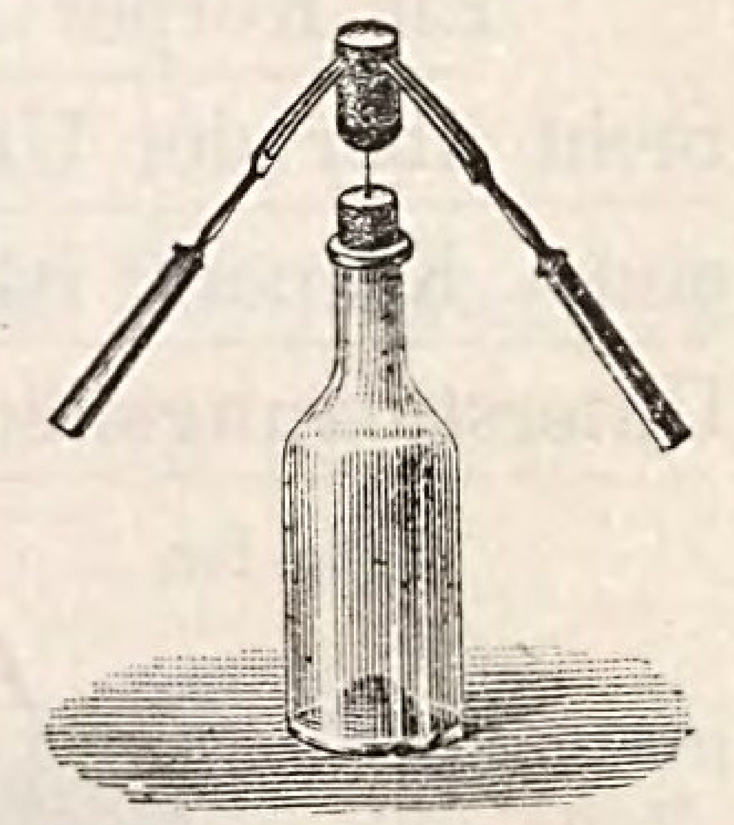
Die stabile Gleichgewichtslage ist wichtig für die Aufhängung der Wagebalken. Auch bei frei beweglichen Körpern, wie Schiffen, Kähnen u. dgl. strebt der Schwerpunkt, da das Gewicht so wirkt, als wenn es im Schwerpunkte vereinigt wäre, eine möglichst tiefe Lage einzunehmen. Lampen, Kompasse u. dgl. werden auf Schiffen in Ringen (Fig. 212) so aufgehängt, dafs die eine Drehungsachse längs, die andere quer zum Schiffe gerichtet ist, damit trotz der Schwankungen des Schiffes die sichere Gleichgewichtslage jener Gegenstände erhalten bleibt. (Cardanische Aufhängung.)

Übungsstoff. 1. Wo liegt der Schwerpunkt einer überall gleichdicken, geraden Metallstange? — 2. Warum darf der Schwerpunkt eines Pfeiles nicht vorn liegen? — 3. In welcher Glgew.-Lage mufs sich ein Wagebalken befinden, u. w.? — 4. Wo liegt der Schwerpunkt von kreisförmigen und quadratischen Doppelscheiben, welche überall gleichdick sind und halb aus Kupfer, halb aus Eisen bestehen? — 5. Angenommen, die Scheiben seien von Holz; wie ist dann bei gleicher Dicke der Scheiben eine ungleiche Verteilung der Masse möglich, und welchen Einflufs würde eine solche Verteilung der Masse auf die Lage des Schwerpunktes ausüben? — 6. In welchen Glgew.-Lagen befinden sich zwei Kugeln, von denen die eine auf einer wagerechten Fläche ruht und die andere in einem auf ihrer Oberfläche gelegenen Punkte frei aufgehängt ist? — 7. Eine Kugel bestehe halb aus Blei und halb aus Holz. In welcher Lage befindet sich dieselbe im stabilen und in welcher im labilen Glgew.? —

1) labare, fallen wollen. — 2) indifferens, gleichgiltig.

8. Ein Ring werde in verschiedenen Punkten aufgehängt. Wo werden die Richtungslinien der Schwere sich dann treffen? — 9. Nenne Hohlkörper, bei welchen der Schwerpunkt eine ähnliche auffällige Lage hat. — 10. Aus einem 3—4 cm langen Stückchen Holundermark und einem kurzen eisernen Nagel mit kugelschaligem Kopfe soll ein Körper zusammengesetzt werden, welcher sich von selbst aufrichtet, wenn man ihn niederlegt. Wie ist dies auszuführen? Erkl.! — 11. Warum müssen zum Spiel bestimmte Würfel aus gleichmäfsig schweren Stoffen bestehen? — 12. Ein Kork mit eingeklemmter Münze bleibt auf einer Nadelspitze im Glgew., wenn 2 oder 3 Gabeln im Korke befestigt sind (Fig. 213). Erkl.! — 13. Auf einer schiefen Ebene kann man eine kreisförmige Scheibe bergan laufen lassen, wenn ihr Schwerpunkt eine bestimmte Lage hat; welche? Erkl.!

Fig. 213.



§ 67. Die Standfestigkeit der Körper. Um einem Körper eine feste Stellung zu geben, unterstützt man ihn in mehreren nicht in gerader Linie liegenden Punkten (Tische, Stühle, Schränke u. s. w.). Hierbei hängt die Standfestigkeit des Körpers, wie die Erfahrung lehrt, 1. von der Gröfse der Unterstützungsfläche, 2. von der Höhe, in welcher der Schwerpunkt liegt, und 3. vom Gewichte des Körpers ab. Auf einer Fufsspitze steht man nicht so sicher, als wenn beide Sohlen den Boden berühren. Damit hohe Lampen ebenso sicher stehen als niedrige, füllt man ihren Fufs mit Blei aus. Gefüllte Kisten, Fässer u. dgl. sind nicht so leicht umzuwerfen als leere u. s. w. Derartige Erscheinungen erklären sich in folgender Weise:

Da das Gewicht eines Körpers als eine senkrecht abwärts wirkende Kraft angesehen werden kann, deren Angriffspunkt im Schwerpunkte des Körpers liegt, so kann ein Körper nur dann standfähig sein, wenn sein Schwerpunkt unterstützt ist. Stellt man sich nun vor, der Körper ABCD (Fig. 214) werde um die Kante C soweit gedreht, dafs sein Schwerpunkt S senkrecht über der Drehungskante liegt, so entsteht unsicheres Gleichgewicht. Der geringste Stofs würde dann genügen, den Körper zum Fallen zu bringen. Bis der Schwerpunkt diese höchste Lage erreicht, mufs die Kraft den durch das Gewicht des Körpers hervorgerufenen Widerstand überwinden. Jene Lage wird offenbar um so eher erreicht, je kleiner der Winkel ist, um welchen der Körper beim Kippen gedreht werden mufs. Letzteres hängt davon ab, 1) wie hoch der Schwerpunkt des Körpers liegt, 2) wie weit die Drehungskante von der senkrechten Schwerlinie des Körpers, d. h. von der durch seinen Schwerpunkt gehenden Senkrechten, entfernt ist (Fig. 215), oder wie grofs die Unterstützungsfläche des Körpers ist (inwiefern?). Bestätigung:

Fig. 214.

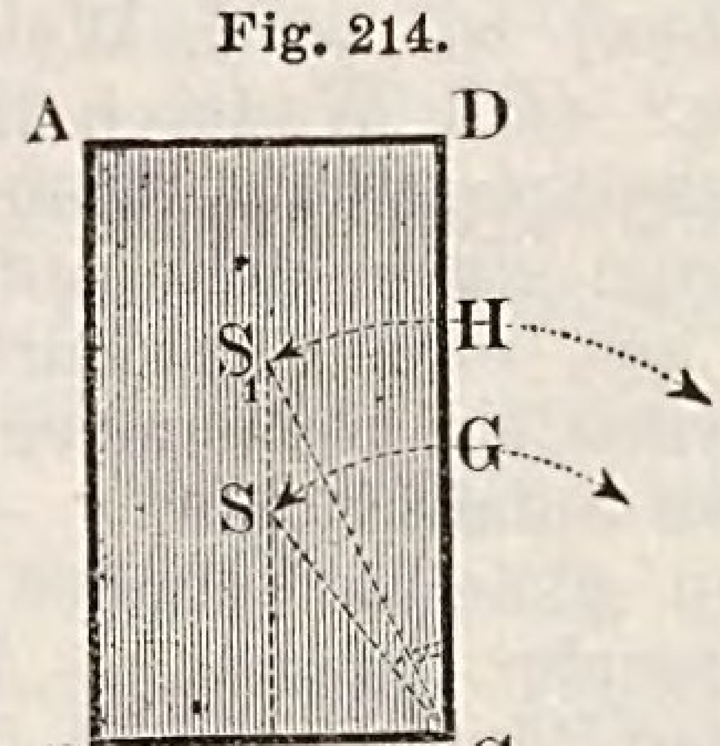
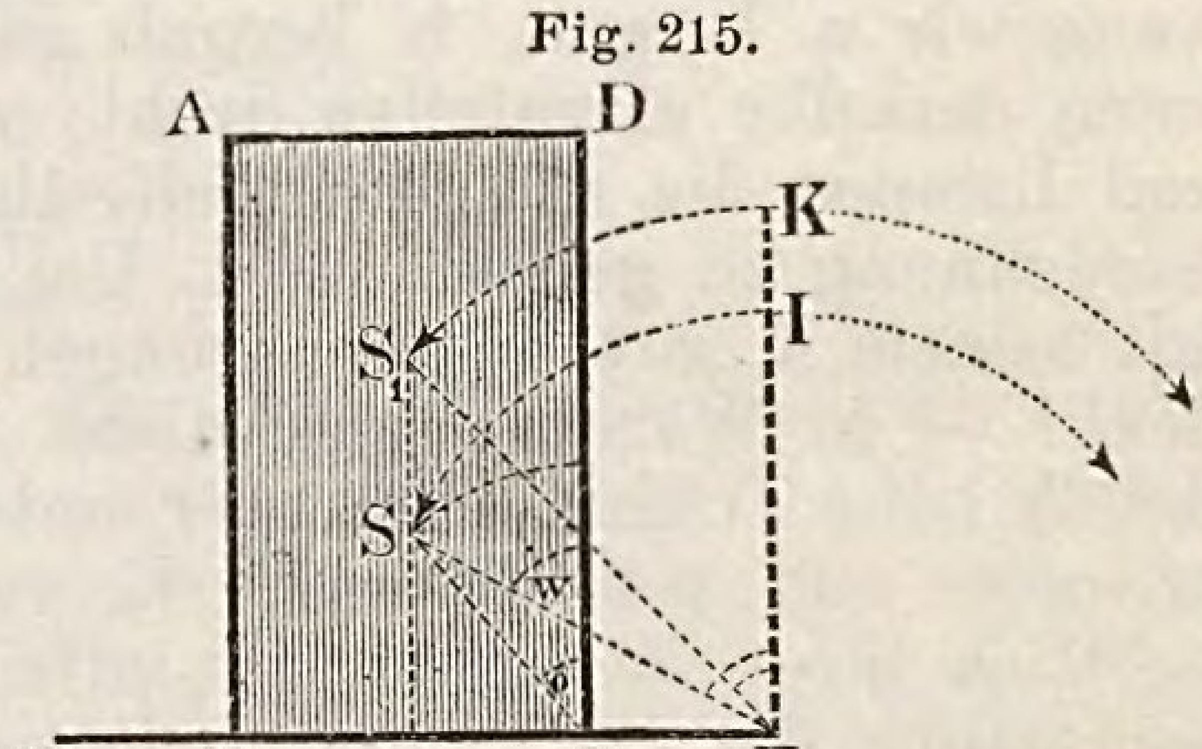


Fig. 215.



Versuch. Wird der hohle Fufs des Apparates (Fig. 216, folg. Seite) mit Eisenfeilspänen gefüllt, oder die Kugel desselben weiter hinunter-

geschoben, oder die Fufsplatte durch eine gröfsere von gleichem Gewichte ersetzt, so ist die Standfestigkeit jedesmal gröfser als anfangs.

Ein Körper ist nur dann **standfähig**, wenn sein Schwerpunkt senkrecht über der Unterstützungsfläche desselben liegt. Die **Standfestigkeit** eines Körpers ist um so gröfser, je gröfser sein Gewicht und seine Unterstützungsfläche ist und je tiefer sein Schwerpunkt liegt.

Fig. 216.

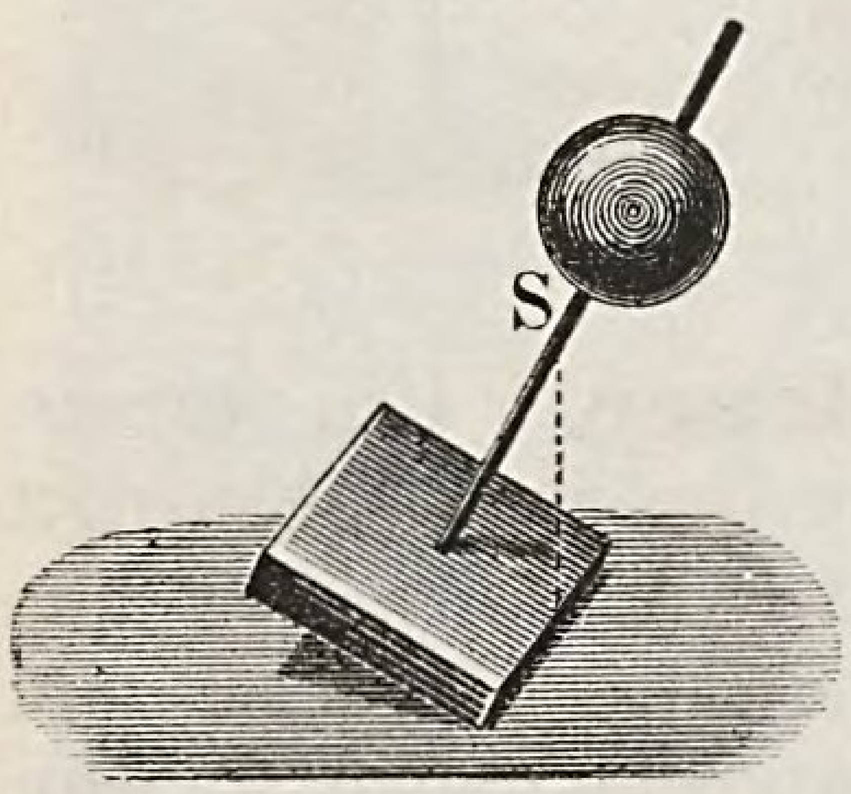


Fig. 217.

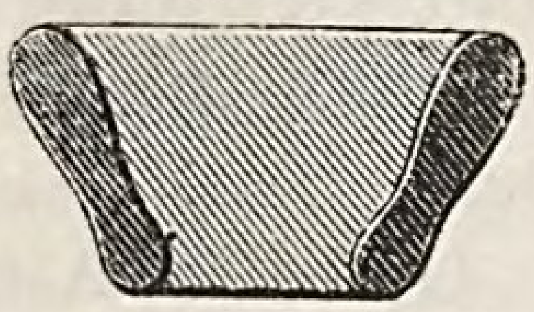


Fig. 218.

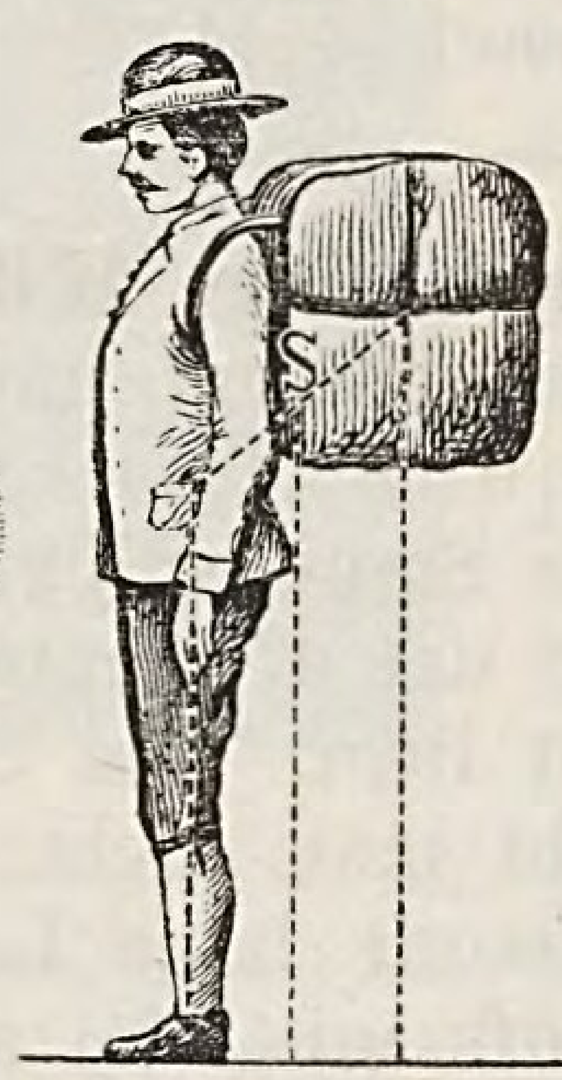


Fig. 219.



Beim Menschen bildet die Unterstützungsfläche ein Trapez (Fig. 217); der Schwerpunkt des Körpers liegt ungefähr in der Mitte des Leibes (Fig. 218 und 219). Durch das Tragen einer Last kann die Lage des Schwerpunktes sich leicht so ändern, dafs die senkrechte Schwerlinie bei gerader Stellung des Körpers über die Unterstützungsfläche hinaus fallen würde (Fig. 218). Der Körper mufs daher nach vorn herüber geneigt werden (Fig. 219), wenn die Last auf dem Rücken, nach rechts, wenn sie an der linken Seite getragen wird u. s. w.

Einen Körper, der nur eine sehr kleine Unterstützungsfläche hat, im labilen Gleichgewichte halten, heifst **Balancieren.** [1]) Das Balancieren ist um so schwieriger, 1) je leichter der Körper ist, 2) je tiefer der Schwerpunkt des Körpers liegt, weil dann der Weg, welchen der Schwerpunkt beim Umfallen zurücklegen mufs, um so kleiner, und die Zeit, den Körper vor dem Umfallen zu schützen, um so kürzer ist.

Übungsstoff. **1.** Welche Haltung geben wir unserm K. unwillkürlich, wenn wir a. bergan, b. bergab gehen; w.? — **2.** Welche ferner auf einem Wagen, wenn derselbe umzufallen droht; w.? — **3.** Wodurch läfst sich bei hohen Leuchtern und Lampen die nötige Standfestigkeit erreichen, ohne dem Fufse eine übermäfsige Ausdehnung zu geben? — **4.** Um von einem Sitze aufstehen zu können, führt man mit seinem K. gewisse Bewegungen aus, welche das Zurückfallen verhindern; welche? Erkl.! — **5.** Warum ist es nicht einerlei, ob man ein mit Flgk. gefülltes, offenes Gefäfs beim Tragen oben oder unten anfafst? Erkl.! — **6.** Vgl. pyramiden-, kegel-, prismen- und walzenförmige K. von gleicher Grundfläche und gleichem Gew. hinsichtlich ihrer Standfestigkeit miteinander. Gründe! — **7.** Warum werden bei Schiffen namentlich die am tiefsten gelegenen Räume belastet (Schiffsballast)? — **8.** Welchen Einflufs übt es auf die Standfestigkeit eines Kahnes aus, wenn man in demselben aufrecht steht? — **9.** Wie steht man in einem Kahn oder auf einem Wagen, wenn diese in Bewegung sind, am sichersten? — **10.** Warum geht man auf Stelzen unsicher? — **11.** Wenn man sich seitwärts auf einem Fufse dicht an die Wand lehnt, so kann man den andern nicht aufheben, ohne umzufallen. Grund! — **12.** Ein Hammer oder Beil ist an seinem unteren Ende (am Holm) schwerer wagerecht zu halten als am oberen Ende. Erkl.! — **13.** In manchen Gegenden werden Lasten von geringem Gew. auf dem Kopfe getragen. Veränderung der Lage des Schwerpunktes? Haltung des K.? — **14.** Ist ein dünner oder dicker Stab leichter zu balancieren, u. w.? — **15.** Sind Messer und Degen leichter zu balancieren, wenn die

[1]) balancer (franz.), schwebend erhalten.

Spitze nach oben oder unten gekehrt ist? Erkl.! — 16. Wie mag es sich erklären, dafs Seiltänzer mit Hilfe einer an ihren Enden mit Blei beschwerten Stange (Balancierstange) auf einem Seile sicherer gehen, als wenn sie nur ihre Arme ausbreiten?

d. Die einfachen Maschinen und ihre einfachsten Verbindungen.

(Siehe §§ 7—14.)

1. Die Gruppe des Hebels.

§ 68. Der Hebel. Die früheren Betrachtungen der 6 einfachen Maschinen führten zu dem Ergebnis, dafs sich die Rolle und das Wellrad auf den Hebel, der Keil und die Schraube auf die schiefe Ebene zurückführen lassen. Hebel und schiefe Ebene bilden somit die eigentlichen mechanischen Elemente, d. h. die Grundbestandteile aller Vorrichtungen, welche den Zweck haben, eine Kraft in vorteilhafter Weise auf einen Widerstand zu übertragen. Die damals angestellten Versuche über die Gleichgewichtsbedingungen des Hebels beschränkten sich auf den einfachsten Fall, dafs zwei Kräfte, von denen die eine als Last bezeichnet wurde, senkrecht auf den Hebel wirkten. Ferner blieb der Einflufs unberücksichtigt, welchen die Lage des Schwerpunktes auf das Gleichgewicht des unbelasteten Hebels ausübt. Von diesen beiden Beschränkungen ist in folgendem abgesehen.

a. Zwei Kräfte wirken auf den Hebel.

Wirken die beiden Kräfte P und Q in verschiedener Richtung (etwa beide unter schiefen Winkeln, Fig. 220) auf den zunächst gewichtslos gedachten Hebel, so halten sie sich (nach § 64, 3 a) das Gleichgewicht, wenn ihre Mittelkraft durch den Drehpunkt O geht. Dann verhalten sich die vom Drehpunkte auf die Kraftrichtungen gefällten Lote Oi und Ok umgekehrt wie die Kräfte zu einander (vgl. Fig. 198). Dies hat nach dem Satze über die Wirkung zweier Drehkräfte (§ 64, 3 b) auch dann Giltigkeit, wenn die Kräfte parallel und gleich gerichtet sind. Bezeichnet man nun die Lote vom Drehpunkte auf die Richtung der Kräfte als Hebelarme, so erlangt das in § 8 nur für einen besonderen Fall abgeleitete Hebelgesetz allgemeine Giltigkeit. Es ist in Zeichen:

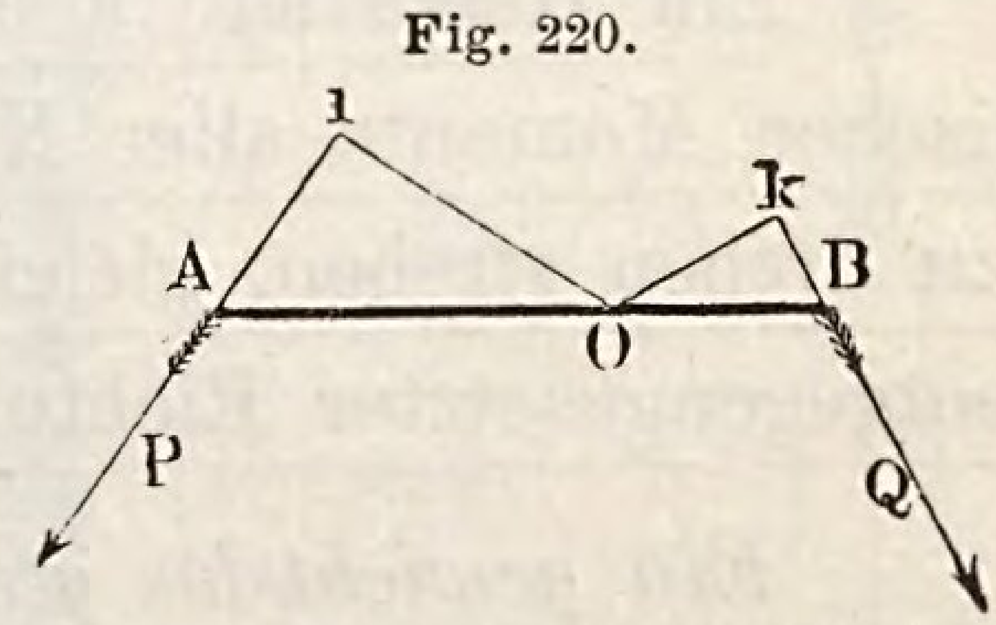


Fig. 220.

$$P : Q = h_q : h_p \text{ oder } P \,.\, h_p = Q \,.\, h_q.\dagger)$$

Nennt man das Produkt einer Kraft in den Hebelarm, an dem sie wirkt, das *statische*[1]) *Moment* der Kraft, so läfst sich das Hebelgesetz in der Form der *Momentengleichung* aussprechen:

†) Trigonometrisch: $P \,.\, l \,.\, \sin w = Q \,.\, l_1 \,.\, \sin w_1$, wenn mit l und l_1 die Entfernungen der Angriffspunkte der Kräfte vom Drehpunkte und mit w und w_1 die Winkel bezeichnet werden, unter denen die Kräfte auf den Hebel einwirken.

1) Statik, Lehre vom Gleichgewicht der Körper.

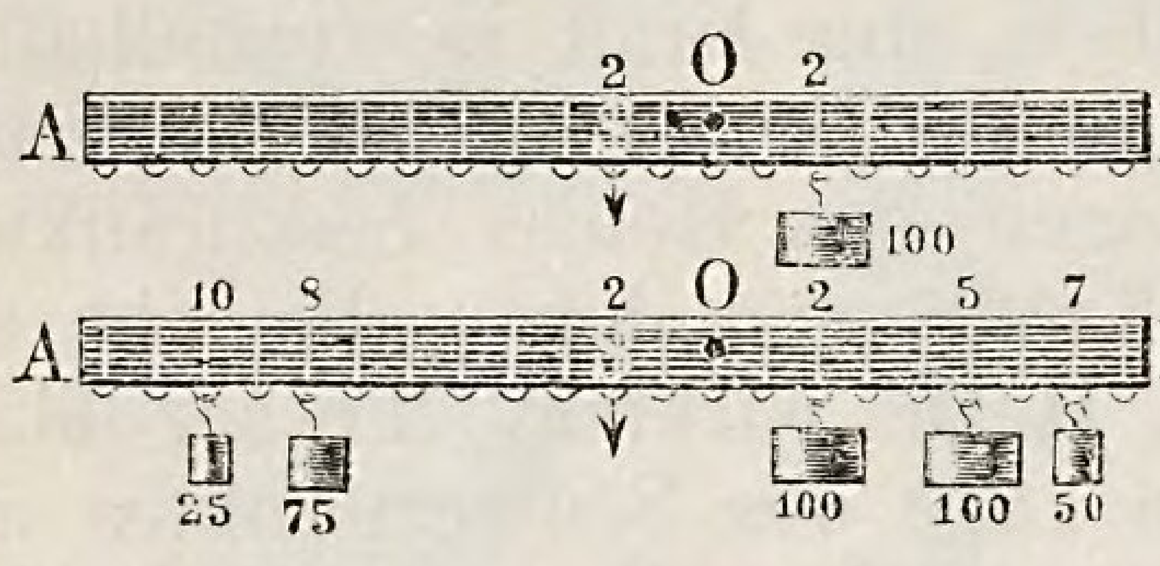
Am Hebel ist Gleichgewicht vorhanden, wenn die statischen Momente gleich sind.

Bei 2 parallel und gleich gerichteten Kräften, mögen sie unter schiefen oder rechten Winkeln auf den Hebel wirken, ist es für die Gleichgewichtsbedingung einerlei, ob man das Verhältnis der Lote vom Drehpunkte auf die Richtungslinien der Kräfte oder das Verhältnis der Abstände des Drehpunktes von den beiden Angriffspunkten in die Momentengleichung aufnimmt.

b. Mehrere Kräfte wirken auf den Hebel.

Beim Gebrauche eines wirklichen Hebels wird der Einfluſs seines Gewichtes aufgehoben, wenn man der Drehungsachse eine solche Lage giebt, daſs sie durch den Schwerpunkt geht. Liegt die Achse seitlich vom Schwerpunkte (S, Fig. 221), so ist das Drehungsmoment des Hebelgewichtes mit in Rechnung zu ziehen. Da man sich unbeschadet der Wirkung den Schwerpunkt als Angriffspunkt des Gewichtes und den Hebel selbst als gewichtslos denken kann, so muſs der Hebel im Gleichgewichte sein, wenn man z. B. eine dem Gewichte gleiche Kraft an der anderen Seite vom Drehpunkte in demselben Abstande wirken läſst. Bei der weiteren Belastung bleibt der Hebel offenbar im Gleichgewichte, wenn das Drehungsbestreben der links wirkenden Kräfte gleich dem der rechts wirkenden Kräfte ist. Wirken mehrere Kräfte auf einen Hebel, so gilt daher das Gesetz:

Fig. 221.



Ein Hebel ist im Gleichgewichte, wenn die Summe der statischen Momente aller Kräfte, welche den Hebel in der einen Richtung zu drehen streben, gleich ist der Summe der statischen Momente der in entgegengesetzter Richtung wirkenden Kräfte.

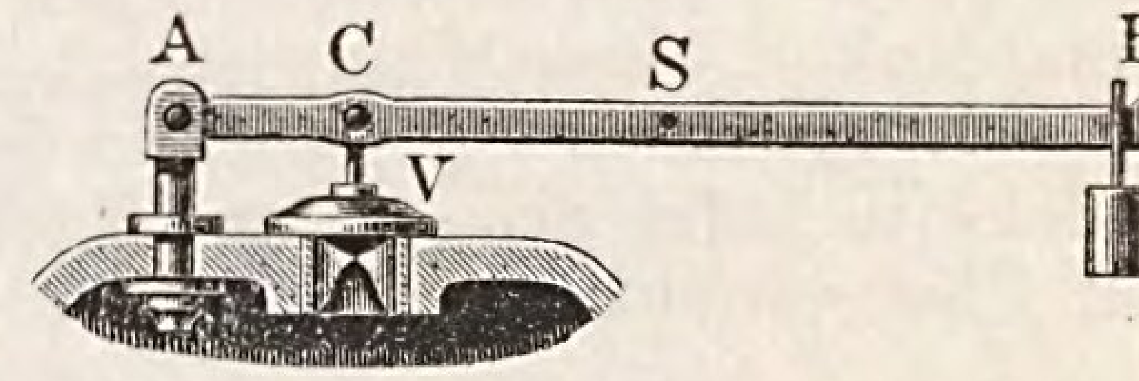
Ein gewichtslos gedachter Hebel wird **mathematischer Hebel,** *ein wirklicher Hebel* **physischer Hebel** *genannt.*

Die Gesetze des Hebels sind zuerst von Archimedes (220 v. Chr.) aufgestellt und mathematisch begründet worden.

Übungsstoff. 1. Die Kurbel eines Wellrades sei 30 cm lang, die daran wirkende Kr. betrage 10 kg. Wv. Kr. würde zur Überwindung derselben Last erforderlich sein, wenn die Kurbel nur 25 cm lang wäre? — 2. Wie lang müſste die Kurbel sein, wenn durch 8 kg Kr. die gleiche Wirkung hervorgebracht werden sollte? — 3. Die Welle eines Wellrades sei 10 cm dick. Wievielmal so groſs würde das Drehungsmoment ein und derselben L. sein, wenn die Welle 15 cm dick wäre? — 4. Wende dies auf die zur Herstellung des Glgew. erforderliche Kr. an. — 5. Warum kann die Vergröſserung des Durchmessers einer Rolle keinen Einfluſs auf das Verhältnis ausüben, in welchem Kr. und L. zu einander stehen? — 6. Wie ändert sich die drehende Wirkung einer Kr., welche an einem Hebel rechtwinklig wirkt, wenn a. ihr Angriffspunkt dem Drehpunkte von 60 cm bis auf 40 cm genähert wird, b. die Kraftrichtung sich ändert? — 7. An einem Hebebaume wirke 20 cm vom Drehpunkte eine L. von 250 kg. Einfluſs, wenn man a. den Angriffspunkt der L. dem Drehpunkte bis auf 15 cm näherte, b. die Lastrichtung änderte? — 8. Eine 2 m

lange Eisenstange, deren Schwerpunkt in der Mitte liege, sei an einem Ende unterstützt und werde am anderen Ende wagerecht gehalten; ihr Gew. betrage 40 kg. Wv. Kr. ist dazu nötig? — 9. Wv. ferner, wenn der Schwerpunkt a. 80, b. 60, c. 50, d. 40 cm vom Unterstützungspunkte entfernt läge? — 10. Welche Gleichung ergiebt sich für die Gleichgewichtsbedingung des Hebels (Fig. 221), wenn die beiden äufseren Gewichtstücke rechts vertauscht würden und links 10 cm vom Drehpunkte ein Gew. ergänzt werden sollte? — 11. Der mit dem Sicherheitsventil eines Dampfkessels verbundene Hebel AB (Fig. 222) sei 40 cm lang und wiege 3 kg, der Schwerpunkt S des Hebels liege 20 cm vom Drehpunkte entfernt. Wie grofs ist der Druck auf das Ventil, wenn AC = 8 cm ist? — 12. Wie grofs ferner, wenn 36 cm vom Drehpunkte ein Gewichtstück von 4,5 kg aufgehängt wäre? — 13. Welchen Druck würde das Ventil erleiden, wenn dasselbe Gewichtstück 10 cm weiter nach links gehängt würde?

Fig. 222.

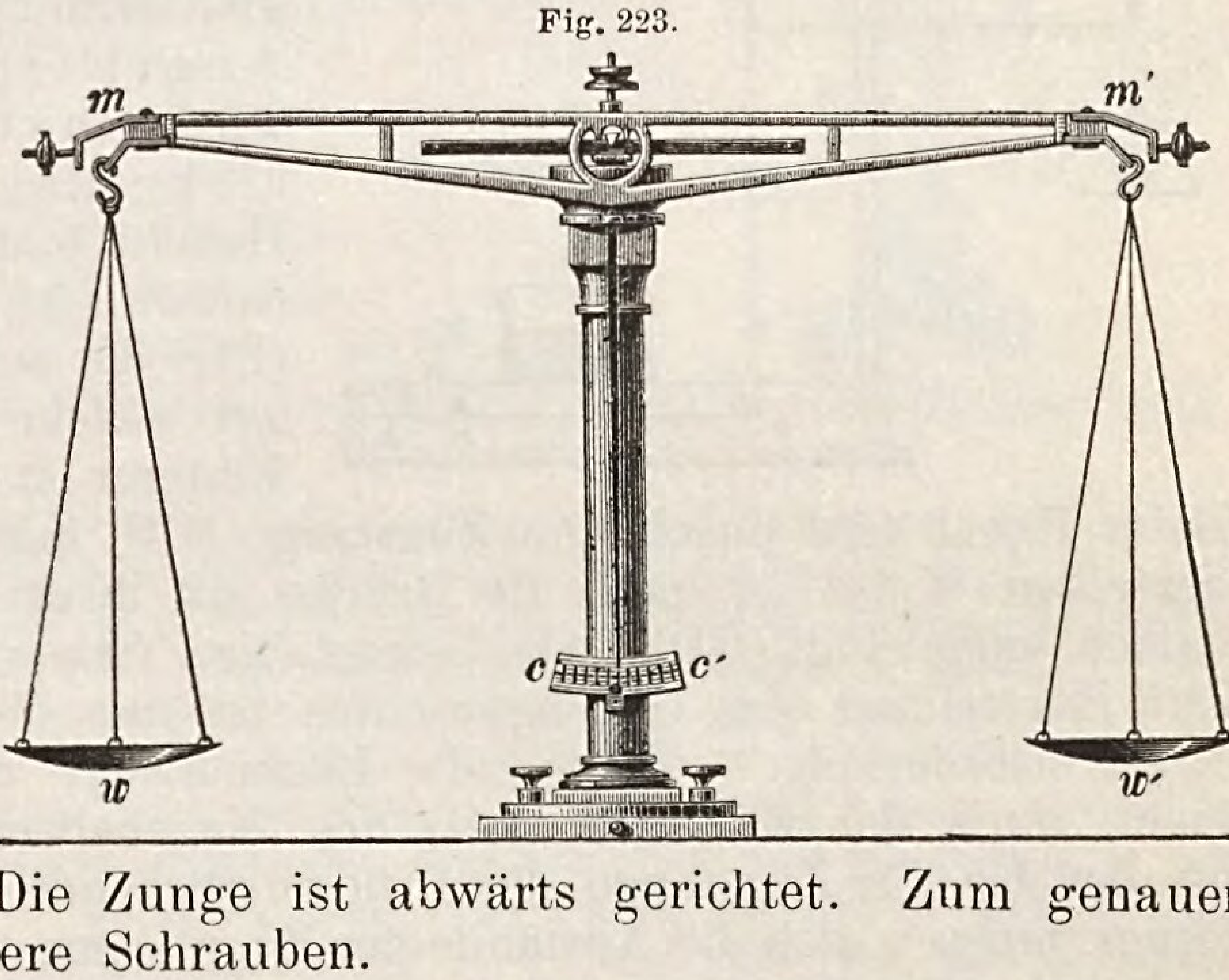


§ 69. Hebel- oder Balkenwagen. (Hebelverbindung.)

Da das Gleichgewicht eines belasteten Hebels nicht allein von der Gröfse der Kraft abhängt, sondern auch von der Länge des Hebelarmes, an dem die Kraft wirkt, so kann man zum Wägen verschiedener Lasten entweder verschiedene Gewichte anwenden, welche man immer an demselben Hebelarme wirken läfst, oder ein und dasselbe Gewicht in verschiedenen Abständen vom Drehpunkte wirken lassen. Hiernach lassen sich verschiedene Arten von Hebelwagen unterscheiden.

1. **Die gleicharmige Wage.** Je nachdem dieselbe zum Gebrauche im täglichen Leben (**Krämerwage**, Fig. 10) oder zu sehr genauen Wägungen (**chemische Wage**, Fig. 223) dient, ist ihre Einrichtung verschieden. Bei der chemischen Wage bildet der Wagebalken ein festes Gerüst von leichten Metallstäben. Die stählerne Achse ruht mit scharfer Schneide auf glattem Stahl oder einem harten, polierten Steine. Die Zunge ist abwärts gerichtet. Zum genauen Einstellen dienen mehrere Schrauben.

Fig. 223.



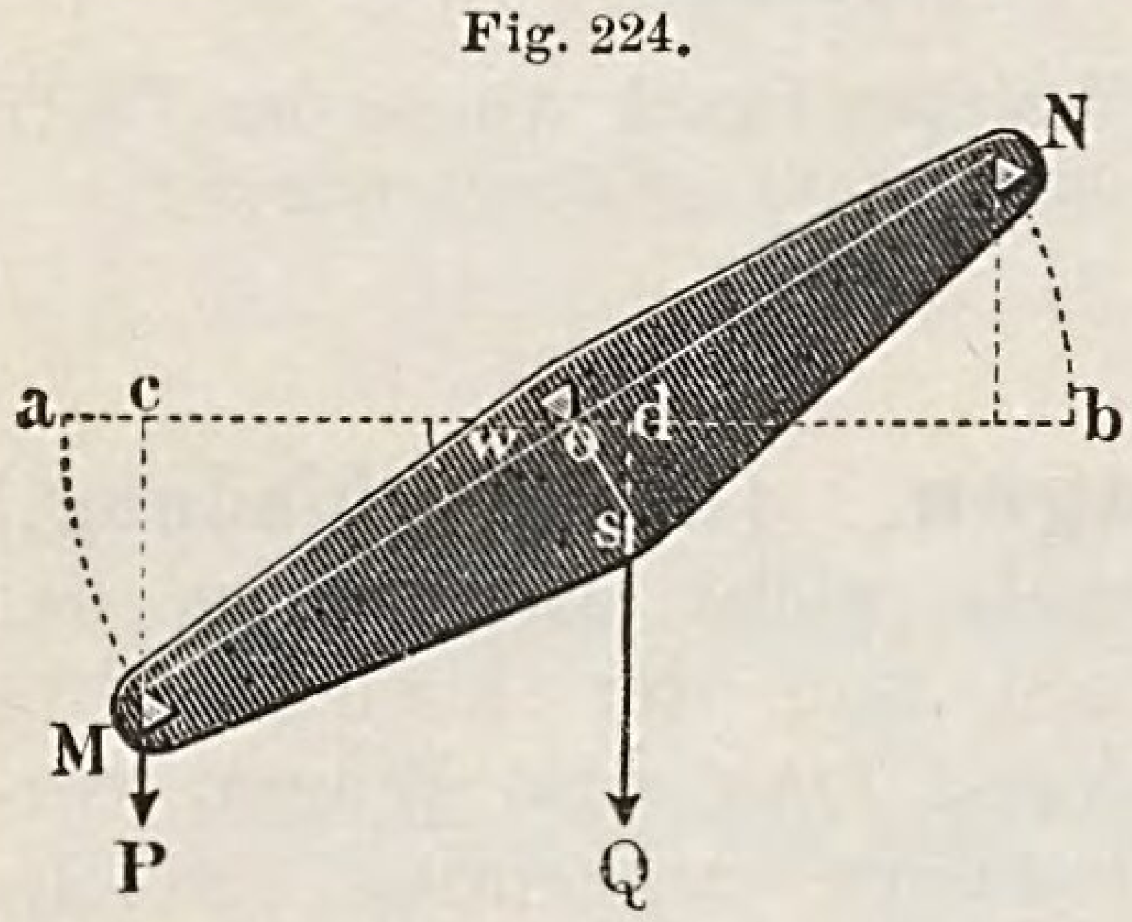
Eine gute Wage mufs nicht nur richtig, sondern auch empfindlich sein. *Richtig ist eine Wage, wenn sie das Gewicht des zu wägenden Körpers ohne Fehler angiebt, empfindlich, wenn schon durch ein geringes Übergewicht ein deutlicher Ausschlag erfolgt.*

Die **Richtigkeit** einer gleicharmigen Wage erkennt man leicht daran, dafs der Wagebalken ohne Belastung wie bei gleicher Belastung der Schalen eine horizontale Lage annimmt. Dies ist der Fall, wenn 1) die beiden Aufhängepunkte der Schalen vom Drehpunkte des Wagebalkens gleichweit entfernt sind und mit

diesem in gerader Linie liegen, 2) wenn die Gewichte beider Arme samt den Schalen und ihren Aufhängemitteln einander gleich sind.

Wie **empfindlich** eine Wage ist, ergiebt sich, wenn man beide Schalen mit dem gröſsten zulässigen Gewichte belastet und darauf untersucht, welches das kleinste Übergewicht ist, das noch einen deutlichen Ausschlag hervorruft. Die Gröſse der Empfindlichkeit wird durch einen Bruch ausgedrückt, dessen Zähler das kleinste Übergewicht und dessen Nenner die gröſste Belastung der Wage angiebt. Die Empfindlichkeit einer Wage ist $\frac{1}{20000}$ heiſst also, daſs bei einer Belastung von 20000 g oder 20 kg durch 1 g noch ein deutlicher Ausschlag erfolgt. Chemische Wagen, welche in jeder Schale ohne Nachteil 1 kg zu tragen vermögen, müssen noch durch ein Übergewicht von höchstens 1 mg einen deutlichen Ausschlag geben ($\frac{1}{1000000}$). Bei den gewöhnlichen Wagen läſst sich eine solche Empfindlichkeit nicht erreichen, da der Wagebalken zum Tragen gröſserer Lasten auch die genügende Festigkeit haben muſs.

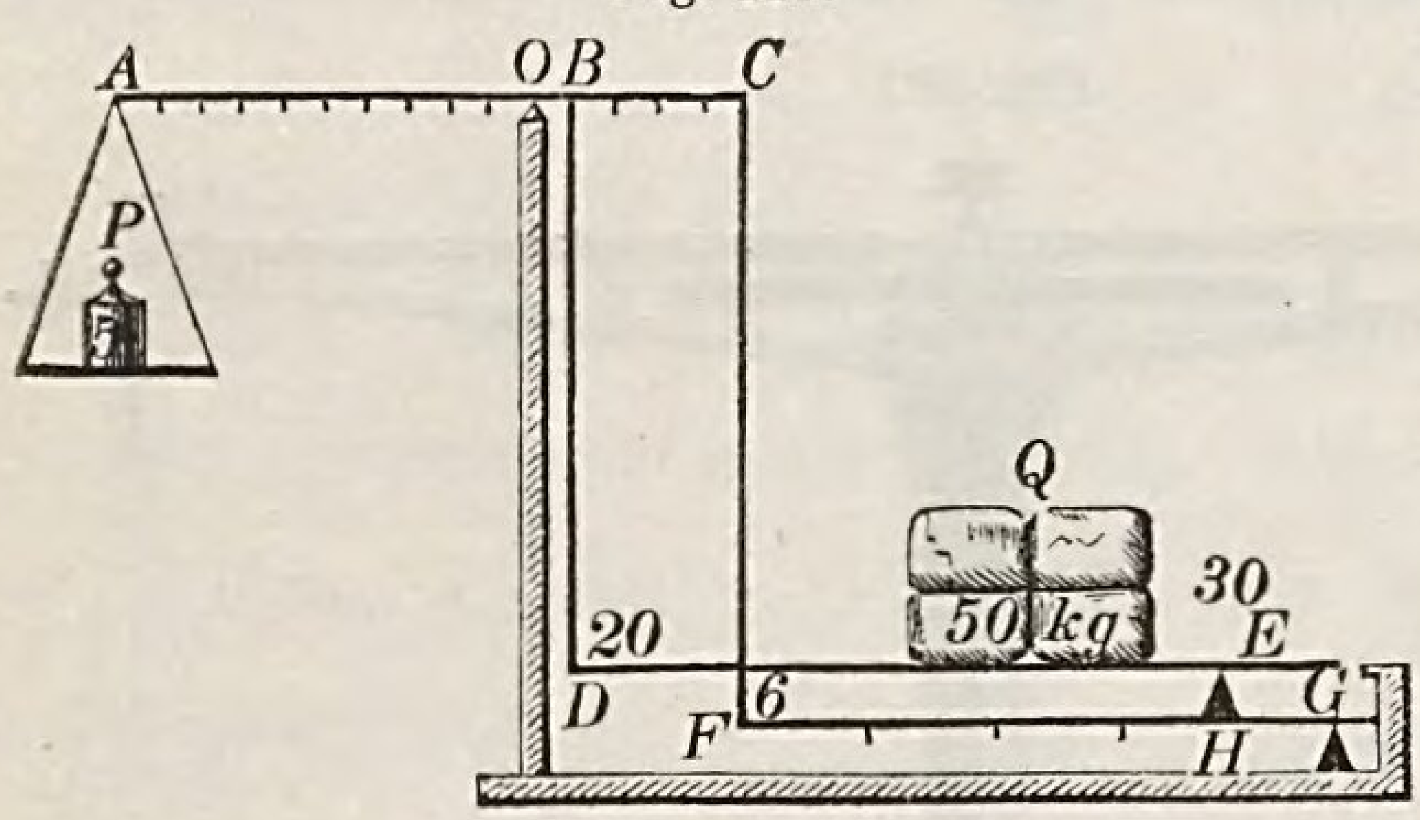
Fig. 224.



Eine Wage ist um so empfindlicher, 1) je länger der Wagebalken ist, denn um so gröſser ist das Drehungsbestreben des Übergewichtes (P, Fig. 224), 2) je leichter der Balken ist, denn um so kleiner ist das als Last (Q) wirkende und im Schwerpunkte vereinigt gedachte Gewicht des Balkens, und 3) je näher der Drehpunkt dem Schwerpunkte des Wagebalkens liegt, denn um so kürzer ist bei einem Ausschlage des Balkens der zugehörige Hebelarm (od) jener Last.

2. Die Decimalwage (Brückenwage, Fig. 225). Sie ist eine aus *zwei Hebeln* zusammengesetzte ungleicharmige Wage, bei welcher die Angriffspunkte der Kraft und Last eine unveränderliche Lage haben. Von diesen Hebeln bildet der eine den *Wagebalken* (AC), während der andere (FG) die sogen. *Brücke* (DE) trägt, auf welche die Last gestellt wird. Ersterer ist zwei-, letzterer einarmig.

Fig. 225.



Beide Hebel sind durch eine Zugstange (CF) miteinander verbunden. In derselben Weise ist auch die Brücke mit ihrem einen Ende am Wagebalken aufgehängt (BD). Alle beweglichen Teile ruhen auf Stahlschneiden. Zur Herstellung des Gleichgewichtes ist nur der 10. Teil der Last als Kraft erforderlich. — Damit die Decimalwage das Gewicht richtig angiebt, muſs der Kraftarm (AO) des Wagebalkens 10 mal so lang sein als der bis zur Zugstange der Brücke reichende Teil des Lastarms (OB); ferner müssen sich die Abstände der Zugstangen vom Drehpunkte ebenso verhalten wie die Arme des einarmigen Hebels (OB : OC = GH : GF).

Der Hebel FG ist in Wirklichkeit gabelförmig und hat wie die Brücke rechts zwei Unterstützungspunkte. Decimalwagen sind besonders zum schnellen Wägen gröſserer Lasten geeignet.

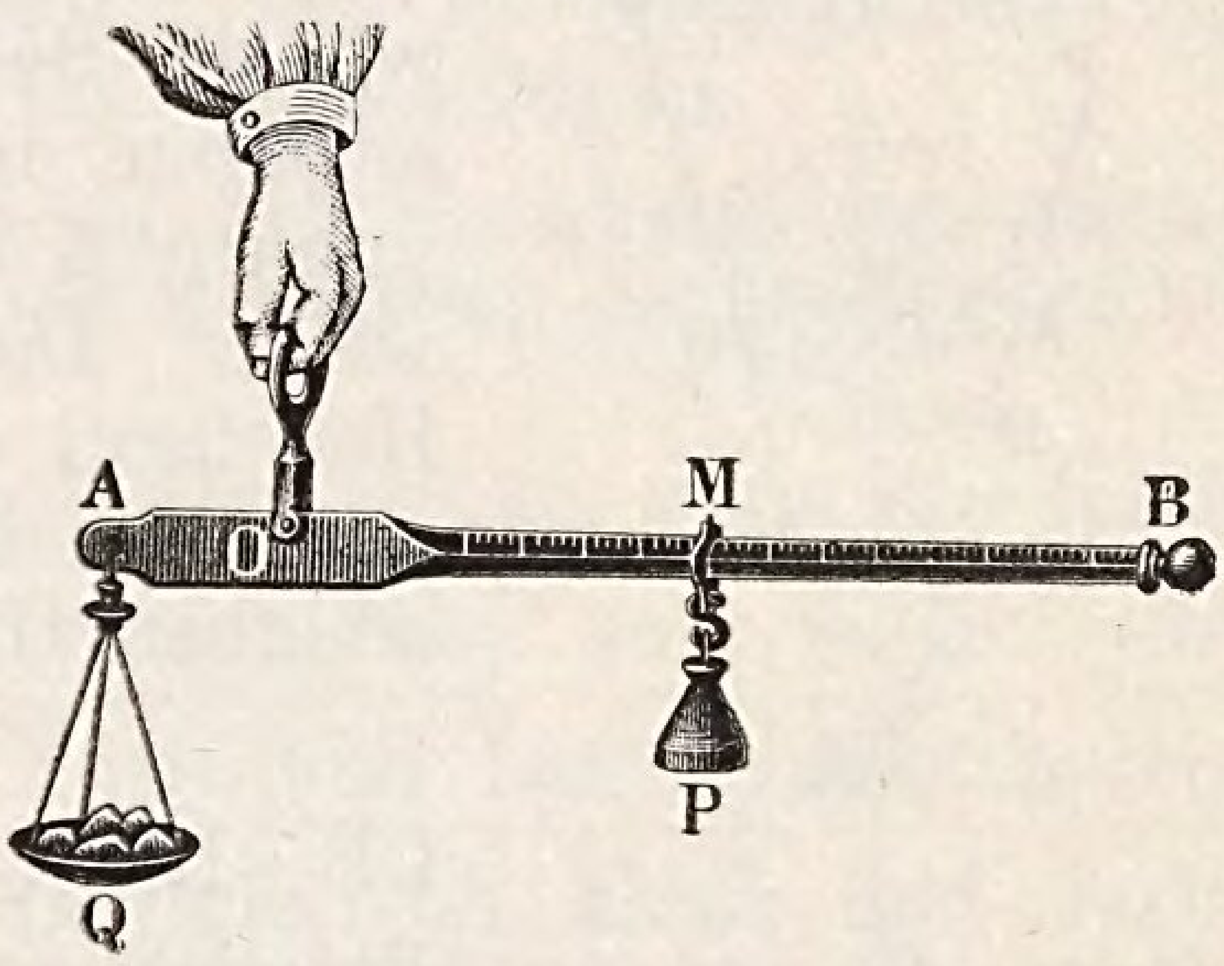
Beispiel zur Erklärung der Wirkung einer Decimalwage: In Fig. 225 verhält sich OB : OC = 1 : 5. Da von der Last (Q) 20 kg auf die Zugstange BD und die übrigen 30 kg auf die Stahlschneide E einwirken, so erleidet der Lastarm des Wagebalkens in B einen Zug von 20 kg. Der von F aus durch den Hebel FG im Punkte C ausgeübte Zug beträgt zwar nur $\frac{30}{5}$ = 6 kg, letztere regen

den Wagebalken aber ebenso stark zur Drehung an als $6 \times 5 = 30$ kg im Punkte B (warum?). Beides zusammen ergiebt für B einen Zug von 50 kg. (Beim Gebrauch der Wage ist die Last mitten auf die Brücke zu stellen.)

Ist die Brückenwage so eingerichtet, dafs die Last durch $\frac{1}{100}$ ihres eigenen Gewichtes im Gleichgewicht gehalten wird, so heifst die Wage **Centesimalwage** (Mauthwage).

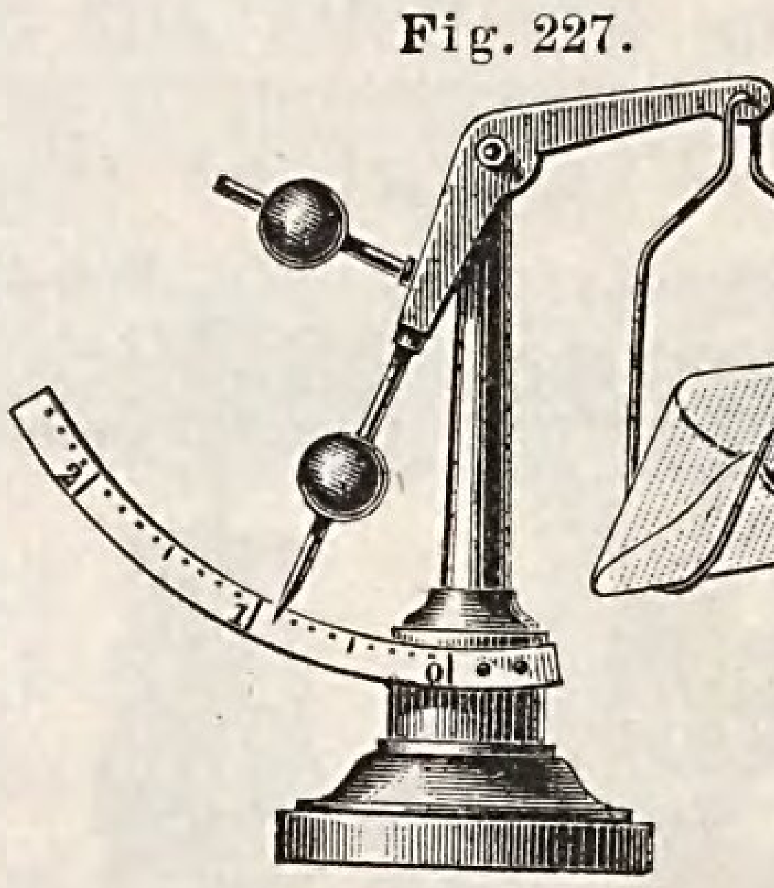
3. Die Schnellwage (römische Wage, Fig. 226). Sie besteht aus einem *ungleicharmigen Wagebalken* (AB), an dessen kurzem Arme (AO) die Last (Q) aufgehängt wird, und dessen langer Arm (OB) zum Aufhängen eines sogen. *Laufgewichtes* (P) einen verschiebbaren Ring (M) trägt. Zur Herstellung des Gleichgewichtes schiebt man das Laufgewicht, je nachdem die Last gröfser oder kleiner ist, weiter nach dem Ende oder nach dem Drehpunkte des Balkens, man verlängert oder verkürzt also je nach Erfordernis den Kraftarm des Hebels. Die Teilstriche am Hebel sind mit Zahlen versehen, welche das Gewicht der Last unmittelbar angeben.

Fig. 226.



4. Die Zeigerwage (Fig. 227). Der Balken derselben ist gewöhnlich ein *Winkelhebel*, dessen abwärts gerichteter Kraftarm einen Zeiger bildet, welcher mit seiner Spitze bei der Belastung der Wage auf einem numerierten Gradbogen das Gewicht der Last anzeigt. Die Teile der Skala sind ungleich und werden demnach gewöhnlich durch das Auflegen bekannter Lasten bestimmt. Zur genauen Einstellung des Zeigers dienen Metallkugeln, die an einem Schraubengewinde verschiebbar sind.

Fig. 227.



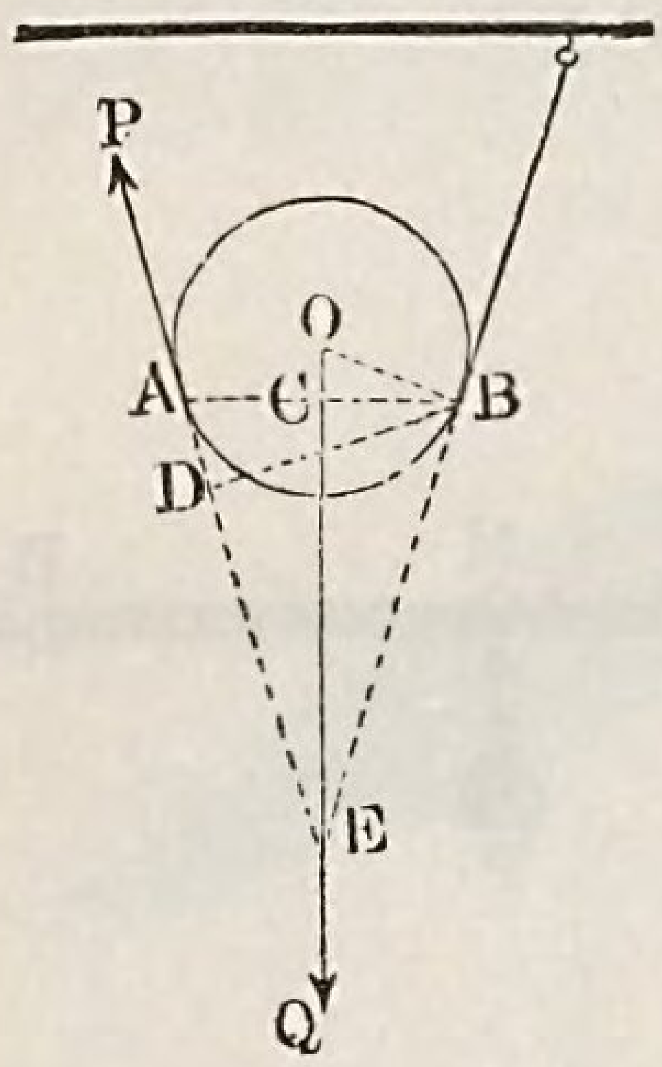
Übungsstoff. 1. Bei einer Krämerwage seien die Abstände der beiden Angriffspunkte vom Drehpunkte ungleich und zwar links 20, rechts 19,8 cm. Der kürzere Arm des Wagebalkens sei etwas stärker als der längere, sodafs vor der Belastung Glgew. entsteht und die Wage also richtig erscheint. a. Welches Gew. scheint die Ware zu haben, wenn sie auf der linken Seite liegt und durch 1,5 kg im Glgew. gehalten wird? b. Welches Gew. hat die Ware in Wirklichkeit? — 2. Bei einer anderen Wägung liege die Ware auf der rechten Schale und werde ebenfalls durch 1,5 kg im Glgew. gehalten. Welches ist a. das scheinbare, b. das wirkliche Gew. der Ware? — 3. In welchem Falle würde der Käufer und in welchem der Verkäufer im Nachteil sein, u. w.? — 4. Wie läfst sich eine derartige Unrichtigkeit einer Ware entdecken? — 5. Wenn man eine unrichtige Wage belastet ins Glgew. bringt und dann die Last mit Gewichtstücken vertauscht, ohne das Glgew. zu stören, so erhält man das richtige Gew. (sogen. Bordasche Doppelwägung). Worauf beruht dies? — 6. An dem einen Arm einer Krämerwage sei ein sogen. Laufgewicht aufgehängt, das angeblich nur den Zweck hat, die Wage nach dem Auflegen der Stoffe, welche zur Umhüllung der Ware dienen, ins Glgew. zu bringen, in Wirklichkeit aber auch sonst angewandt wird. In welchem Falle giebt dann die Wage das Gew. der Ware a. zu hoch, b. zu niedrig an; w.? — 7. Eine auf 50 kg geaichte Wage gebe bei ihrer gröfsten zulässigen Belastung noch durch 1 g einen deutlichen Ausschlag. Gröfse der Empfindlichkeit? — 8. Für Q = 80 kg

ist der Zug zu berechnen, welchen die Punkte B und C (Fig. 225) unter der Annahme erleiden, dafs der einarmige Hebel in E $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{5}{8}$ der Last trägt. — **9.** Warum ist die Last am besten mitten auf die Brücke zu stellen? — **10.** Die Brücke bewegt sich stets parallel zu sich selbst auf und ab. Erkl.!

§ 70. Rolle. Rollenverbindungen oder Flaschenzüge.

Das in § 9 angeführte Gesetz der losen Rolle hat nur für den Fall Giltigkeit, dafs die Seilteile parallel sind. Um einen allgemeinen Ausdruck desselben zu erhalten, betrachten wir die Sehne AB des Seilbogens (Fig. 228) als einarmigen, in B unterstützten Hebel, in dessen Endpunkte A die Kraft und in dessen Mitte C die Last wirkt. Da BD als Lot auf die Kraftrichtung den Hebelarm der Kraft und BC als Lot auf die Lastrichtung den Hebelarm der Last bildet, so entsteht offenbar Gleichgewicht, wenn P . DB = Q . CB oder

Fig. 228.



$$P : Q = CB : DB \text{ ist.}$$ Nun ist

CB : DB = OB : AB, da $\triangle$ OCB $\sim$ $\triangle$ ABD; warum? †)

Folglich auch P : Q = OB : AB oder in Worten:

An der losen Rolle verhält sich die Kraft zur Last, wie der Radius der Rolle zur Sehne des Seilbogens.

Wie ergiebt sich das früher angeführte Gesetz aus diesem allgemeineren Satze?

Fig. 229.

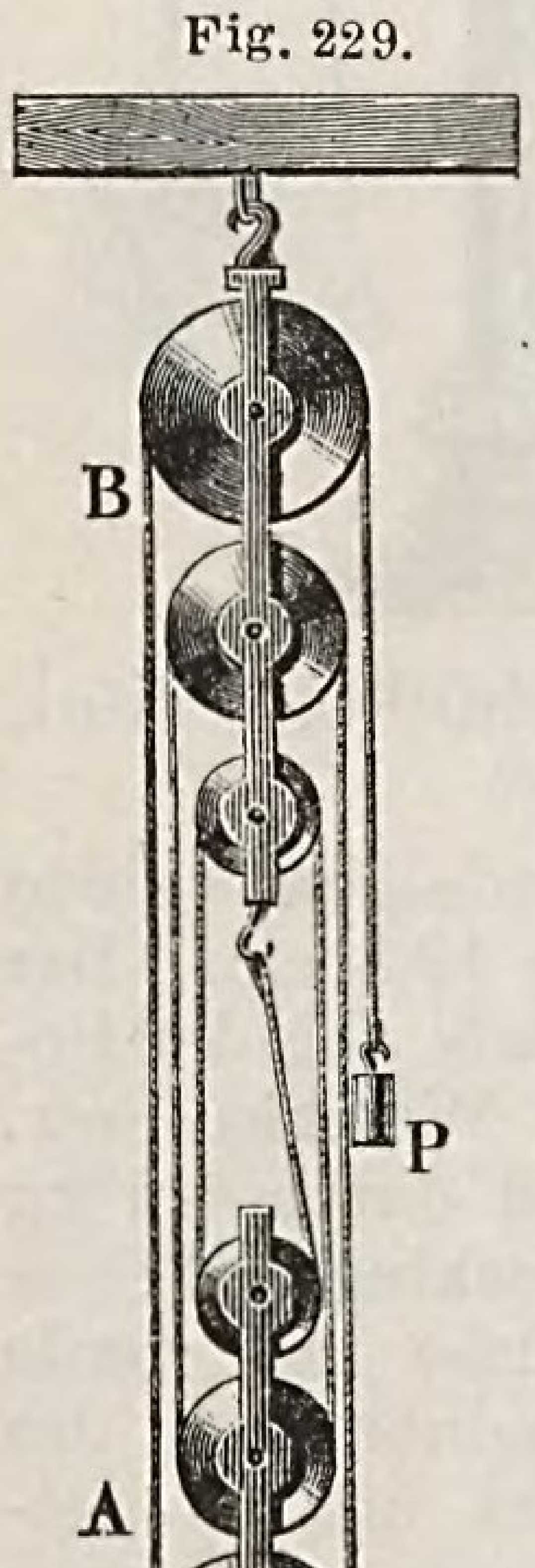
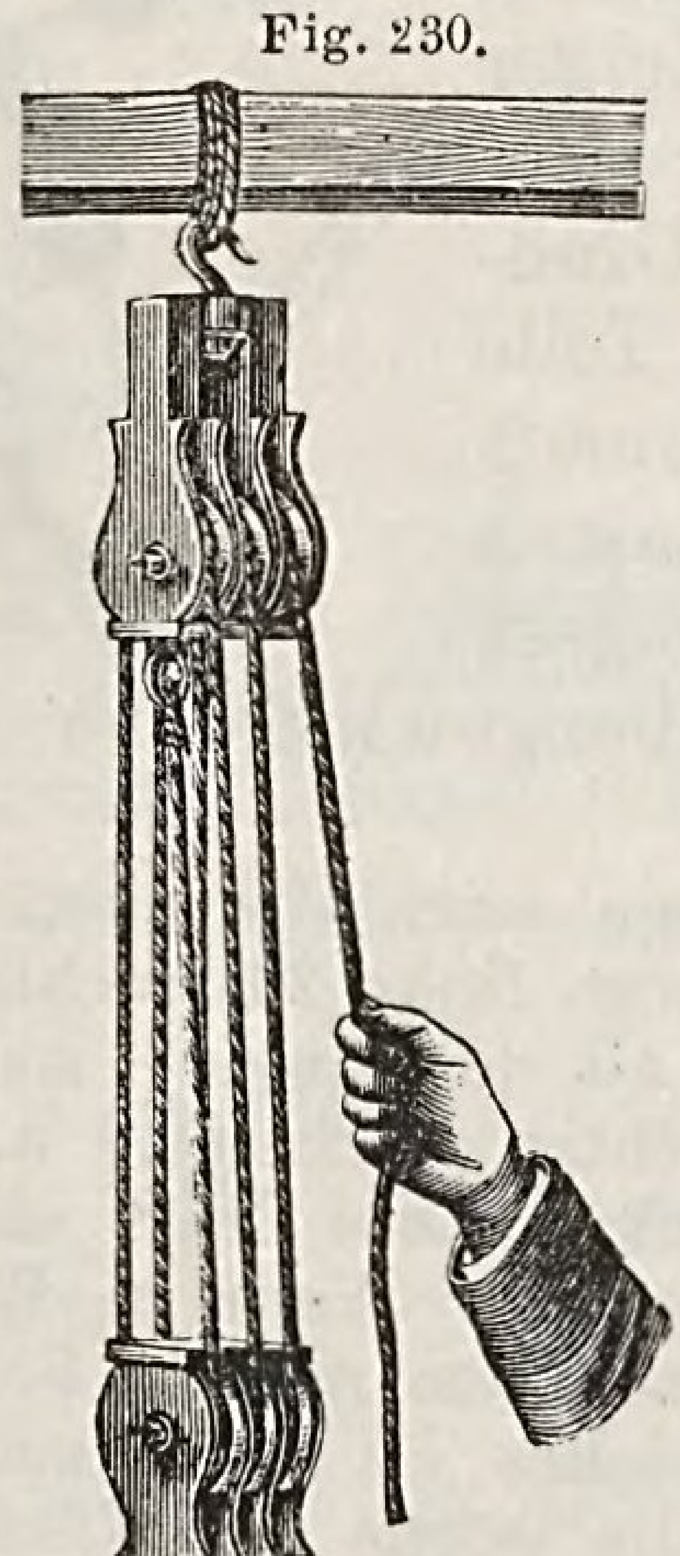


Fig. 230.



Der mechanische Vorteil, welchen die Anwendung von Rollen gewährt, läfst sich dadurch vergröfsern, dafs man Rollen zu sogen. Flaschenzügen miteinander verbindet. Eine sehr bekannte Rollenverbindung stellt der **gemeine Flaschenzug** dar (Fig. 229 und 230). Bei demselben sind *zwei oder drei Rollen* unter- oder nebeneinander in *zwei Scheren* (Flaschen oder Kloben) so befestigt, dafs jede Rolle sich unabhängig von der anderen drehen kann. Die eine der beiden Scheren wird an einem festen Punkte aufgehängt und durch ein an ihrem unteren Ende befestigtes Seil mit der anderen Schere so verbunden, dafs je 2 gleichliegende Rollen von einer Seilschleife umfafst werden. An der frei herabhängenden Schere wirkt die Last (Q) während die Kraft (P) am freien Seilteile zum Heben der Last einen Zug ausübt.

†) Man betrachte ∢ BAD als Winkel des rechtwinkligen Dreiecks CAE und ∢ BOC als Winkel des rechtwinkligen Dreiecks BOE, so ergiebt sich die Gleichheit dieser Winkel, da dieselben durch die beiden an E gelegenen gleichen Winkel zu rechten Winkeln ergänzt werden.

Wie sich Kraft und Last zu einander verhalten, folgt ohne weiteres daraus, dafs eine Drehung der Rollen nicht eintreten kann, wenn die Spannungen aller Seilteile (bei paralleler Lage) gleich sind. Während nun die Kraft nur ein Seilteil gespannt hält, werden durch die Last alle übrigen Seilteile gespannt gehalten. Die Anzahl der letzteren Seilteile ist gleich der Zahl der vom Seile umspannten Rollen. — Das Verhältnis der Wege ergiebt sich, wenn man die Verkürzung aller von der Last gespannt gehaltenen Seilteile (Lastweg) mit der Verlängerung des durch die Kraft angezogenen Seilteiles (Kraftweg) vergleicht. Beides läfst sich durch den Versuch bestätigen.

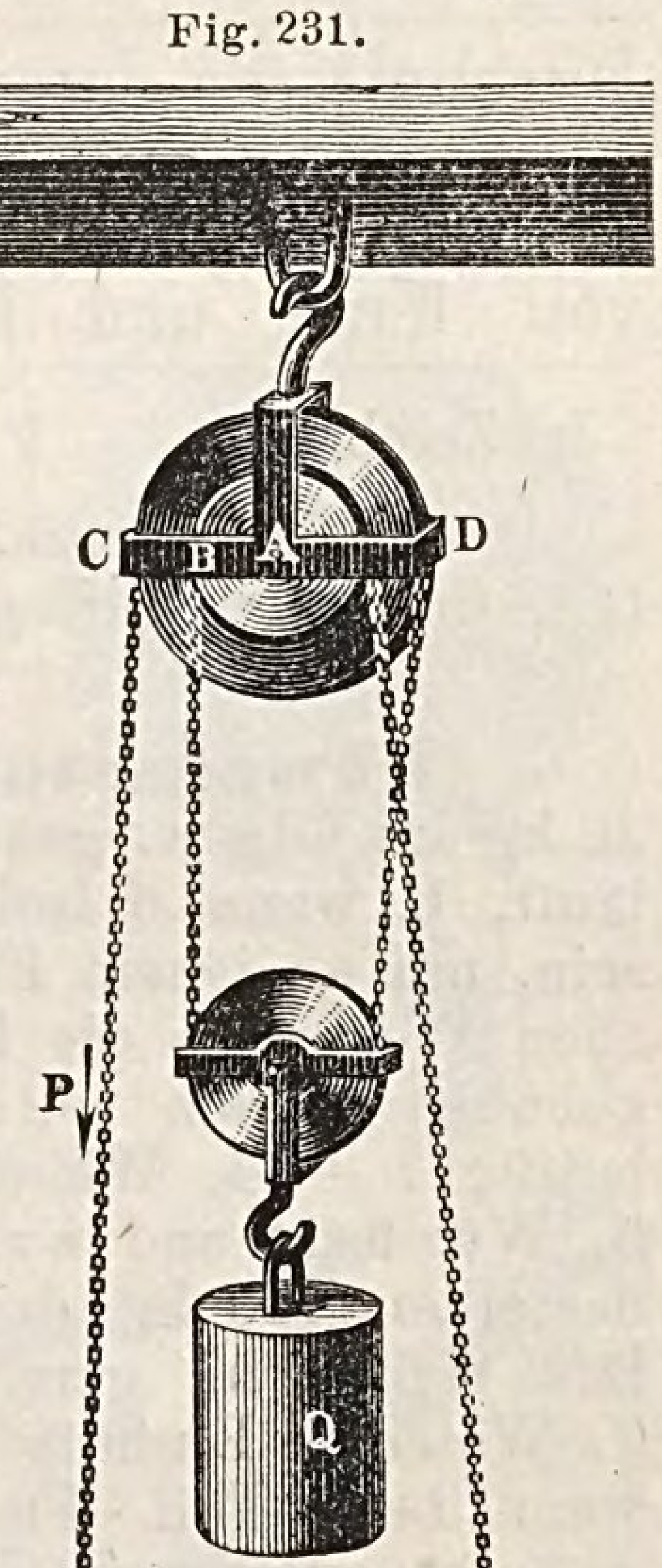
Hängt man den Flaschenzug umgekehrt so auf, dafs die Scheren ihre Stellen wechseln, so wird die untere Rolle überflüssig. Zur Herstellung des Gleichgewichts ist dann $\frac{1}{5}$ der Last erforderlich; warum?

Am **gemeinen Flaschenzuge** herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie die Zahl 1 zur Anzahl der vom Seile umspannten Rollen. — Die Wege, welche Kraft und Last zurücklegen, stehen zu einander im umgekehrten Verhältnis von Kraft und Last.

In Zeichen: $P : Q = 1 : n,$
$W_p : W_q = Q : P = n : 1,$ wenn n die Anzahl der Rollen bedeutet.

Eine andere, ebenfalls sehr häufig angewandte Rollenverbindung ist der **Differential-Flaschenzug** (Fig 231). Dieser besteht aus einer *festen Doppelrolle,* welche durch eine *Kette ohne Ende* mit einer *losen Rolle* verbunden ist. Die beiden Durchmesser der Doppelrolle sind nur wenig voneinander verschieden (der gröfseren Deutlichkeit wegen in der Figur auffallender dargestellt). Die von derselben herabhängende Kette bildet zwei Schleifen, von denen eine die lose Rolle mit der Last trägt, die andere zum Angriffe für die Kraft lose herabhängt. Indem die Kette durch die Kraft P angezogen wird, wickelt sich der eine Teil der festen Schleife von dem kleineren Umfange der Doppelrolle (bei B) ab, während der andere Teil derselben sich auf den gröfseren Umfang (bei D) aufwickelt. Mit der losen Schleife findet das Umgekehrte statt. Dies hat zur Folge, dafs die feste Schleife sich verkürzt und die Last gehoben wird, die lose Schleife sich dagegen verlängert. Ein Gleiten der Kette wird dadurch verhindert, dafs sich auf den Umfängen der Rollen Vertiefungen befinden, in welche die einzelnen Kettenglieder eingreifen.

Fig. 231.



Das Verhältnis zwischen Kraft und Last ergiebt sich, wenn man sich den Durchmesser CD der festen Doppelrolle als Hebel vorstellt, dessen Drehpunkt in A liegt und dessen Angriffspunkte C, B und D sind. Im Punkte C wirkt die Kraft, in B und D je die

Hälfte der Last auf den Hebel ein. Der dem Punkte B entsprechende Punkt, in welchem nur das Gewicht des Ketteneiles wirkt, kann vernachlässigt werden. Dieser Hebel ist nun nach § 68 im Gleichgewichte, wenn die Summe der Drehungsmomente für die Punkte C und B gleich dem Drehungsmomente für den Punkt D ist.

Beispiel: Ist $Q = 100$ kg, $AB = 9$, $AC = 10$ cm, so ist das Drehungsmoment für $C = 10 \times P$, für $B = 9 \times 50$, für $D = 10 \times 50$, die Gleichgewichtsbedingung also:

$$(10 \times 50 P) + (9 \times 50) = 10 \times 50.$$ Hieraus folgt:

$10 \times P = (10 \times 50) - (9 \times 50)$ oder $= (10 - 9) \times 50$, mithin $P = 5$ oder auch $P : 50 = (10 - 9) : 10$. (In Worten nach der Bedeutung der Zahlen auszudrücken!)

Allgemein: Bezeichnet R (= AC) den gröfseren, r (= AB) den kleineren Radius, so ist $R \cdot P + r \cdot \frac{Q}{2} = R \cdot \frac{Q}{2}$. Hieraus folgt:

$$R \cdot P = R \cdot \frac{Q}{2} - r \cdot \frac{Q}{2} = (R - r) \cdot \frac{Q}{2};$$ demnach

$$P : \frac{Q}{2} = (R - r) : R$$ oder

$$P : Q = (R - r) : 2\,R.$$

Durch den Versuch läfst sich nachweisen, dafs die Wege sich umgekehrt zu einander verhalten wie Kraft und Last.

Am **Differential-Flaschenzuge** verhält sich die Kraft zur Last, wie die Differenz der beiden Halbmesser der festen Doppelrolle zum gröfsten Durchmesser derselben sich verhält. — Die von der Kraft und der Last zurückgelegten Wege stehen zu einander im umgekehrten Verhältnis von Kraft und Last.

In Zeichen: $P : Q = (R - r) : 2R$ und $W_p : W_q = Q : P$.

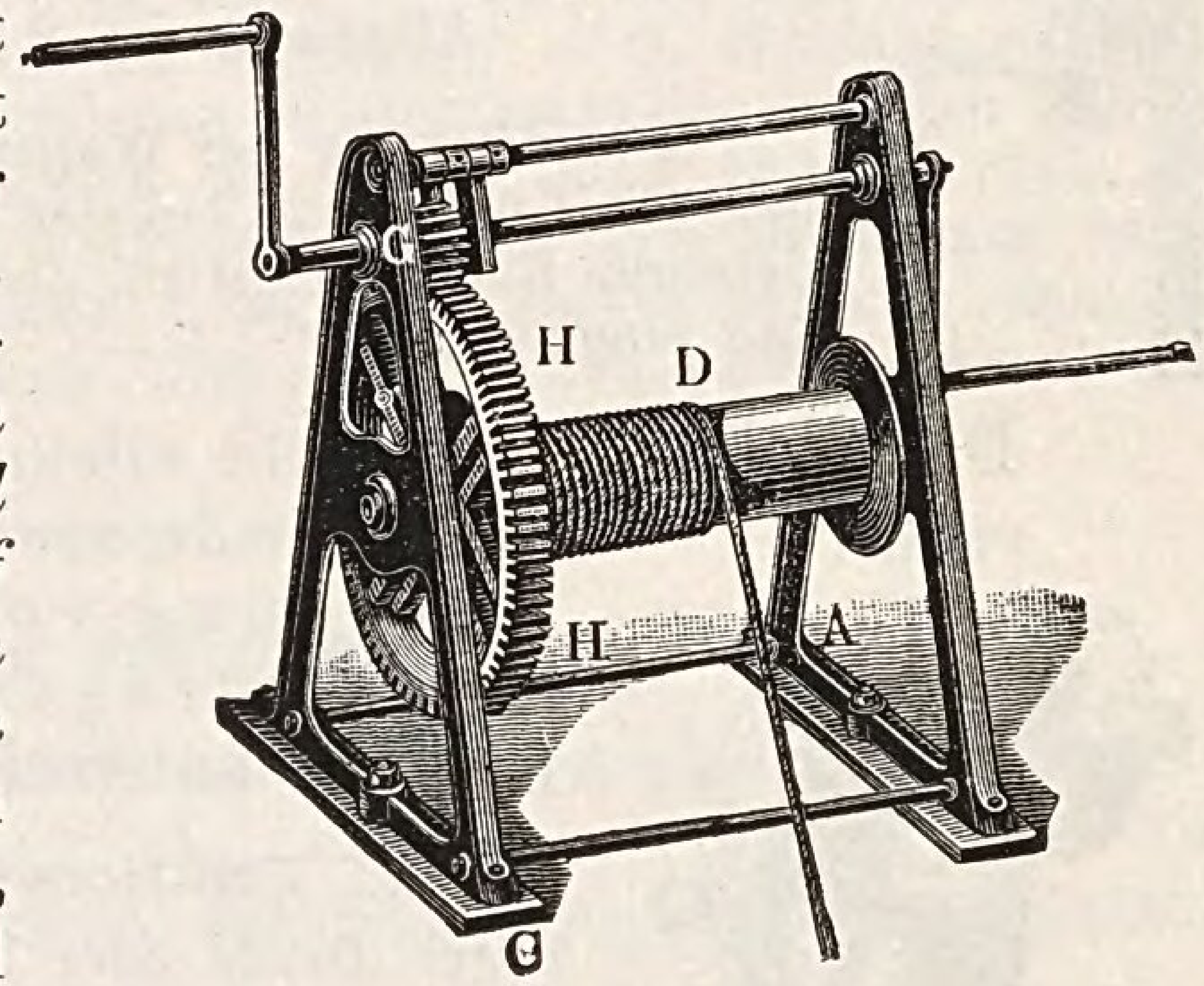
Der Differential-Flaschenzug bietet bei grofser Kraftersparnis wesentliche Vorteile durch die geringe Länge der Kette.

Übungsstoff. **1.** Wv. L. kann an einem gem. Flschz. durch 24, 30 und 36 kg im Glgew. gehalten werden, a. wenn das Seil um 2 feste und 2 lose Rollen läuft, b. wenn 6 Rollen vom Seile umspannt werden? — **2.** Wv. Kr. würde nötig sein, um an jenem Flschz. 100, 120 und 150 kg im Glgew. zu halten? — **3.** a. Welchen Weg mufs die Kr. zurücklegen, wenn durch beide Flschze. die Last um 2 m gehoben werden soll? b. Um wv. wird die L. gehoben, wenn der Kraftweg 4 m beträgt? — **4.** Welche mech. Arbeit wird dabei (Frage 3, a und b) geleistet? — **5.** Wv. feste und wv. lose Rollen mufs ein gem. Flschz. enthalten, wenn mittelst desselben 120 kg durch 30 kg im Glgew. gehalten werden sollen? — **6.** Warum läfst sich beim gem. Flschz. die Anzahl der Rollen nicht beliebig vergröfsern? — **7.** Welchen Einflufs müfste es auf das Verhältnis zwischen Kr. und L. ausüben, wenn beim Diff.-Flschz. der Abstand der beiden Umfänge der festen Rolle vergröfsert oder verkleinert würde? — **8.** Die beiden Durchmesser der festen Rolle seien 22 und 24 cm lang, die L. gleich 600 kg; wv. Kr. ist erforderlich, damit Glgew. entsteht? — **9.** Wv. L. kann an demselben Flschz. durch 20 kg Kr. im Glgew. gehalten werden? — **10.** Wv. Rollen müfste ein gem. Flschz. enthalten, wenn die Kraftersparnis dieselbe sein sollte? — **11.** Welchen Weg hat bei jenem Flschz. (8.) die Kr. bei einer einmaligen Umdrehung der festen Rolle zurückgelegt? — **12.** Um wv. hat sich dabei der eine Teil der festen Schleife auf-, der andere abgewickelt? — **13.** Beurteile hiernach, a. um wv. das Seil der festen Schleife sich verkürzt hat, b. um wv. die Schleife selbst dadurch kürzer geworden, um wv. die

L. also gehoben ist, c. wv. Arbeit geleistet ist. — 14. Welcher mech. V. und welcher mech. N. ist mit der Anwendung beider Flaschenzüge verbunden?

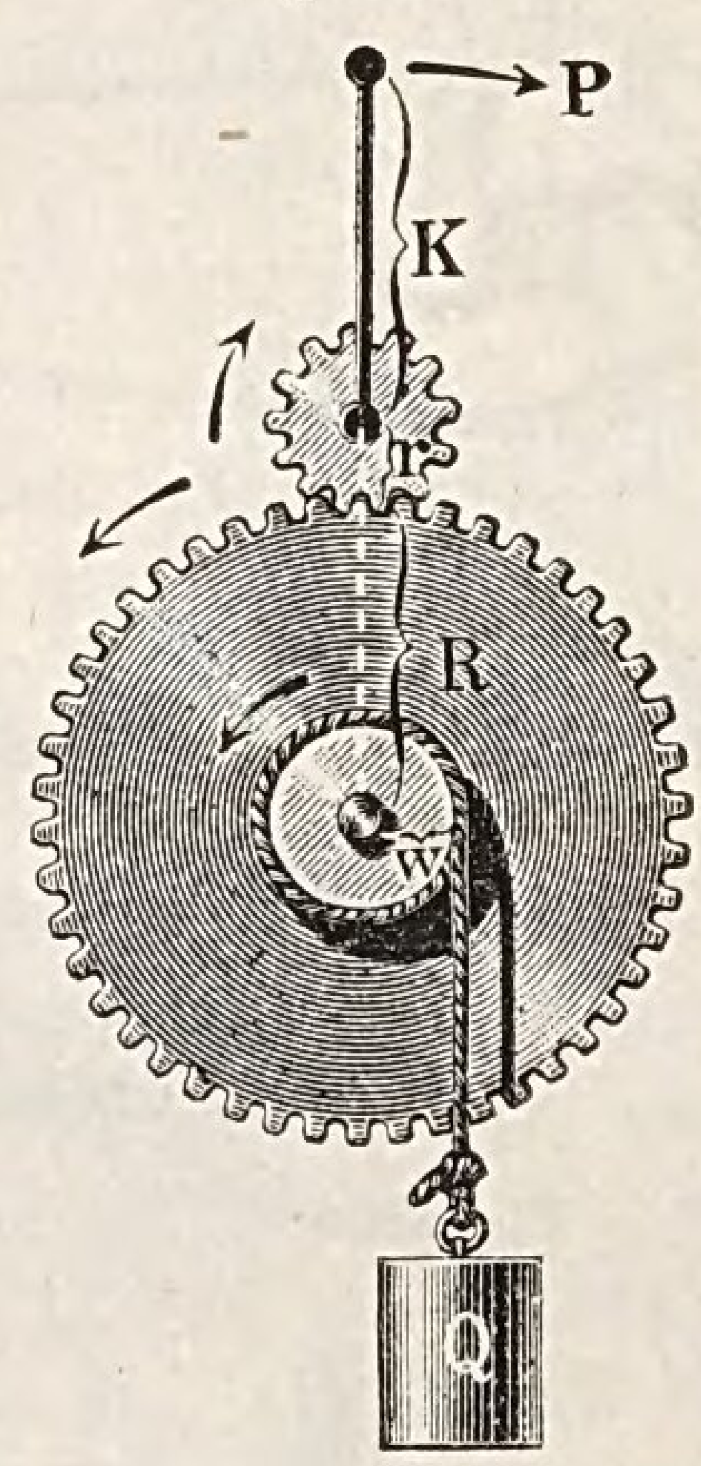
§ 71. Verbindungen des Wellrades. Nach § 10 läfst sich die Wirkung des einfachen Wellrades dadurch vergröfsern, dafs man eine dünnere Welle und ein gröfseres Rad anwendet. Diese Art der Veränderung des Wellrades läfst nur eine geringe Vergröfserung der Wirkung desselben zu (warum?). Um die Wirkung des Wellrades bedeutend zu erhöhen, *befestigt man auf der Lastwelle ein Zahnrad und läfst die Kraft mittelst Kurbel auf eine besondere Welle einwirken, deren Zahnrad in das Zahnrad der ersten Welle eingreift* (Fig. 232). In diesem Falle wird die Maschine **Seilwinde**, auch Bockwinde oder Haspel mit einfachem Vorgelege genannt.

Fig. 232.



In Fig. 233 sei w der Radius der Welle, an welcher die Last (Q) wirkt, R der Radius des auf dieser Welle befestigten grofsen (getriebenen) Rades, r der Radius des kleinen (treibenden) Rades, K die Kurbel. Damit Gleichgewicht entsteht, müssen die (in folgendem mit D bezeichneten) Druckwirkungen, welche die Zähne der beiden Räder durch die Kraft und Last in entgegengesetzter Richtung aufeinander ausüben, gleich sein. Das Verhältnis zwischen Kraft und Last läfst sich in folgender Weise berechnen:

Fig. 233.

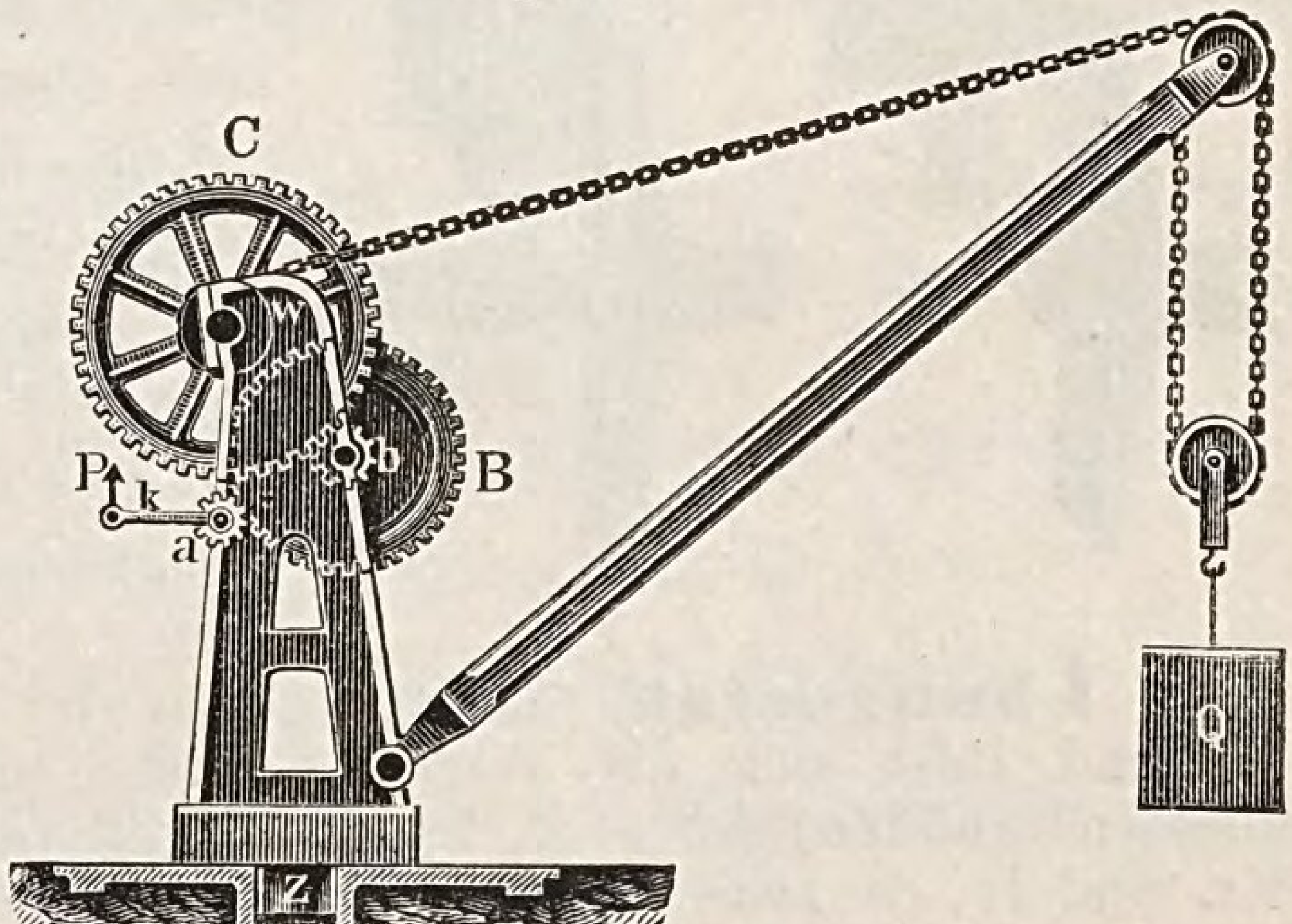


Beispiel: Ist R = 4w und K = 3r, so ergiebt sich nach § 10: $d = \frac{1}{4}Q$, aber auch $= 3P$, folglich $P = \frac{1}{12}Q$.

Allgemein: $D = \frac{W}{R} . Q$, aber auch $= \frac{K}{r} . P$, folglich $\frac{W}{R} . Q = \frac{K}{r} . P$, also auch $w . r . Q = K . R . P$, mithin $P : Q = w . r : K . R$; in Worten? Verhältnis der Wege?

Gezahnte Räder, deren Zähne die Richtung des Radhalbmessers haben, werden Stirnräder genannt (Fig. 233 bis 235). Ihre Wellen liegen parallel zu einander. — Winden mit mehrfachem Vorgelege werden als **Kräne** (Fig. 234) an Bahnhöfen, Häfen, in Maschinenfabriken u. s. w. angewandt.

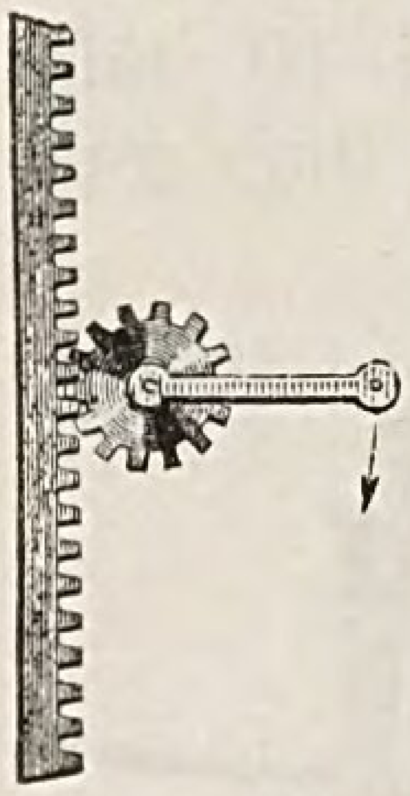
Fig. 234.



Um grofse Lasten auf eine geringe Höhe zu heben, bedient man sich häufig der **Wagenwinde** (Fig. 235, folg. Seite), d. h. einer Vorrichtung, bei welcher ein

kleines Zahnrad (Getriebe) in eine Zahnstange eingreift, die beim Drehen der Kurbel sich auf- oder abbewegt. Rad und Stange sind von einem starken Gehäuse umgeben. Beim Gebrauche stemmt man die Winde unter den zu hebenden Gegenstand. Ist die Kurbel (K) etwa 5 mal so lang als der Halbmesser (r) des Rades, so ist $P = \frac{1}{5}Q$. — Wie verhalten sich hiernach die Wege zu einander?

Fig. 235.

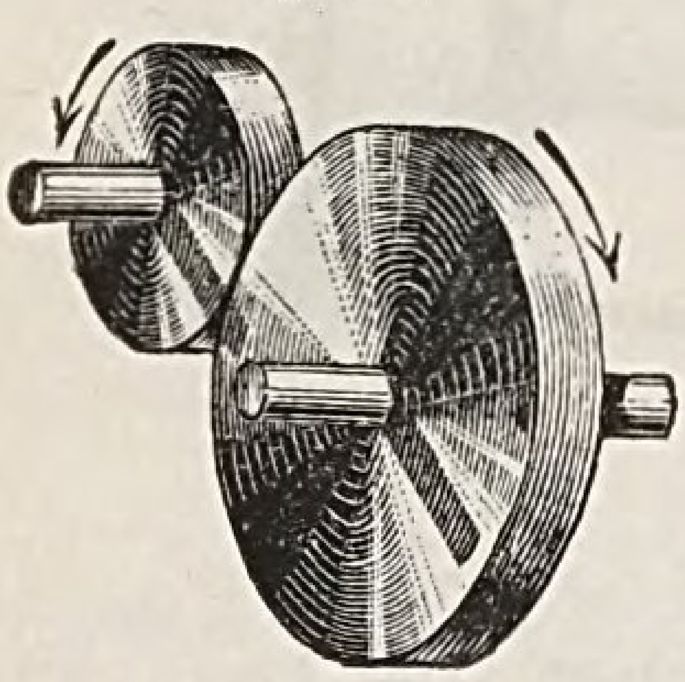


Allgemein ist $P : Q = r : K$, oder in Worten?

Die Wirkung der Wagenwinde läfst sich dadurch verstärken, dafs man die Kurbel wie bei der Seilwinde auf der Achse eines besonderen, kleineren Rades befestigt, dessen Zähne in das in die Stange einfassende Rad eingreifen.

Das Wellrad dient nicht allein zur Bewältigung grofser Lasten und Widerstände, sondern namentlich dazu, eine drehende Bewegung von einer Welle auf eine andere zu übertragen. Je nach der Art dieser Übertragung unterscheidet man aufser den Stirnrädern:

Fig. 236.



a. **Friktionsräder**, d. h. Räder, welche unmittelbar durch Druck oder Reibung bei der Berührung ihrer Umfänge die Bewegung übertragen (Fig. 236). Ihre Anwendung beschränkt sich auf solche Fälle, in denen die Widerstände sehr gering sind (Buchdruckerpresse, Morse-Telegraph).

Fig. 237.

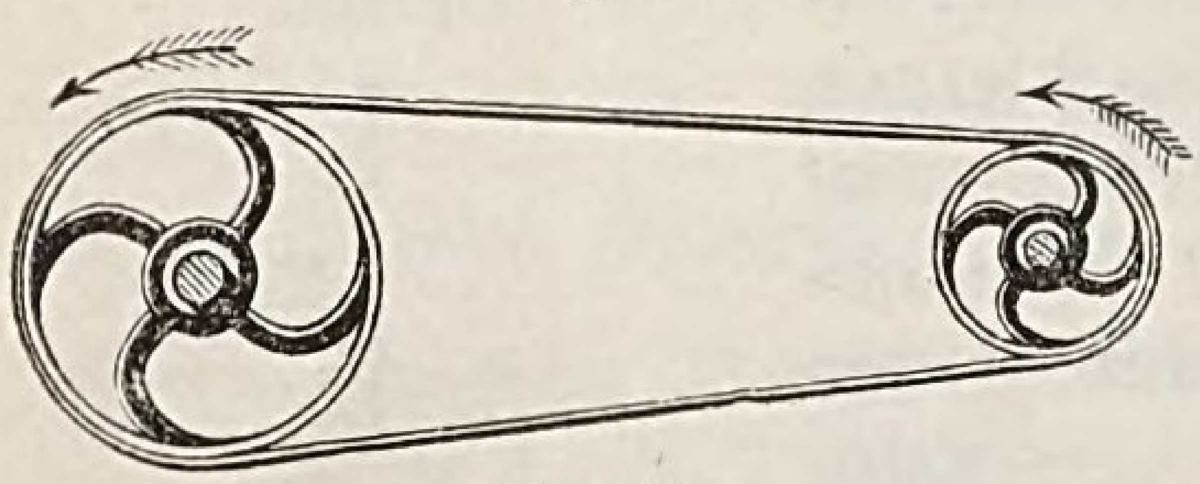
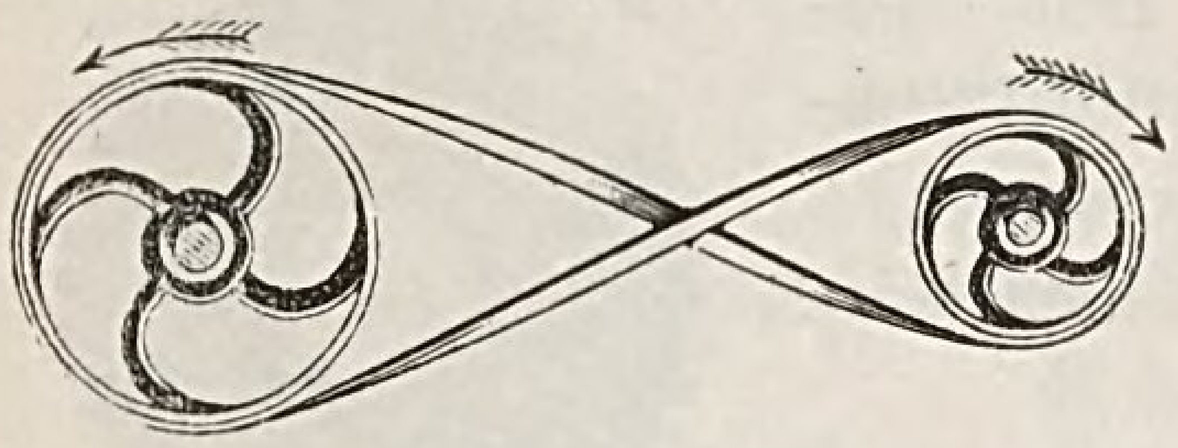


Fig. 238.



b. **Riemenscheiben** (Fig. 237 und 238). Dieselben dienen dazu, die Drehung einer Welle auf eine entfernte andere Welle zu übertragen. Zu diesem Zwecke werden 2 nicht mit Zähnen versehene Räder (Riemenscheiben) beider Wellen durch einen sogen. Riemen ohne Ende verbunden. Je nachdem beide Wellen sich in derselben oder in entgegengesetzter Richtung drehen sollen, verfährt man wie bei Fig. 237 oder wie bei Fig. 238 (Drehbank, Nähmaschine).

c. **Winkelräder** (Fig. 239 und 240). Soll die Bewegung einer Welle auf eine zu dieser senkrecht stehende andere Welle übertragen werden, so geschieht dies durch Winkelräder. Fig. 239 stellt 2 konische Winkelräder dar, d. h. zwei Räder, deren Radkränze die Form von abgestumpften Kegeln haben. In Fig. 240 ist die Einrichtung dargestellt, bei welcher die Zähne eines auf der horizontalen Welle befestigten Kamm- oder Kronrades zwischen die Triebstöcke des auf der senkrechten Welle angebrachten sogen. Drehlings oder Trillings eingreifen.

Fig. 239.

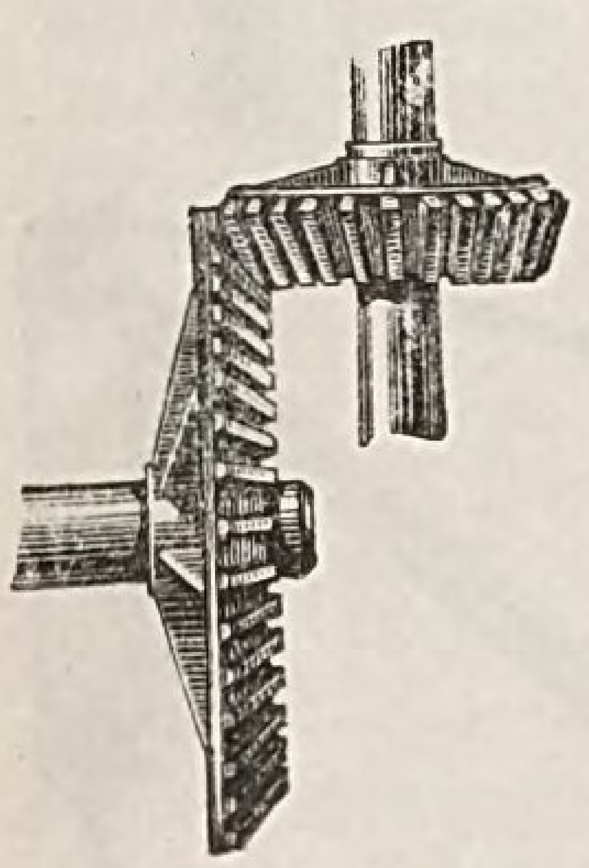
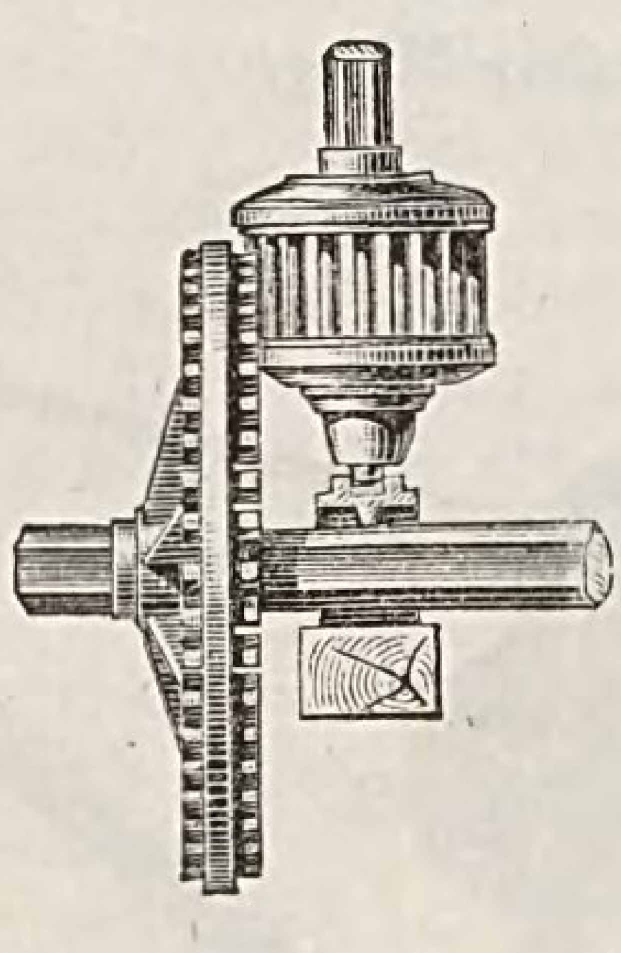


Fig. 240.



Übungsstoff. 1. Bei welcher der beiden einfachen Maschinen (Hebel und Wellrad läfst sich die Wirkung durch blofse Gröfsenveränderung der Teile am meisten erhöhen; w.? — 2. Welchen Einflufs würde es auf das Verhältnis a. zwischen Kr. und L., b. zwischen den Wegen, welche Kr. und L. bei einer Drehung zurück-

legen, ausüben, wenn bei einer Seilwinde von den vier Teilen w, R, r und K je einer an Gröfse zu- oder abnähme? (Drücke diese und die folgende Frage ganz in Worten aus.) — **3.** Bei einer Seilwinde sei w = 5, R = 35, r = 6, K = 30 cm und P = 20 kg. Wie grofs ist Q? — **4.** Wie verhalten sich die Wege zu einander? — **5.** Wv. Arbeit wird geleistet, wenn die Last um 4 m gehoben wird? — **6.** Bei einer einfachen Wagenwinde sei r = 4, K = 24 cm, Q = 180 kg; wie grofs ist P, und wie verhalten sich die Wege zu einander? — **7.** Wie grofs ist die geleistete Arbeit, wenn die L. 30 cm hoch gehoben wird? — **8.** Worin besteht bei den beiden angeführten Maschinen der mech. V. und worin der mech. N.? — **9.** Weise durch eine Rechnung an den in Frage 3 bis 6 angeführten Beispielen nach, dafs bei beiden Maschinen der mech. N. dem mech. V. gleich ist. — **10.** Man will die drehende Bewegung einer Welle auf eine andere Welle übertragen. Wie kann man dabei verfahren, a. wenn beide Wellen parallel sind, b. wenn sie rechtwinklig zu einander stehen? — **11.** Führe aus eigener Anschauung Fälle an, in denen die eine oder andere dieser Einrichtungen vorkommt.

2. Die Gruppe der schiefen Ebene.

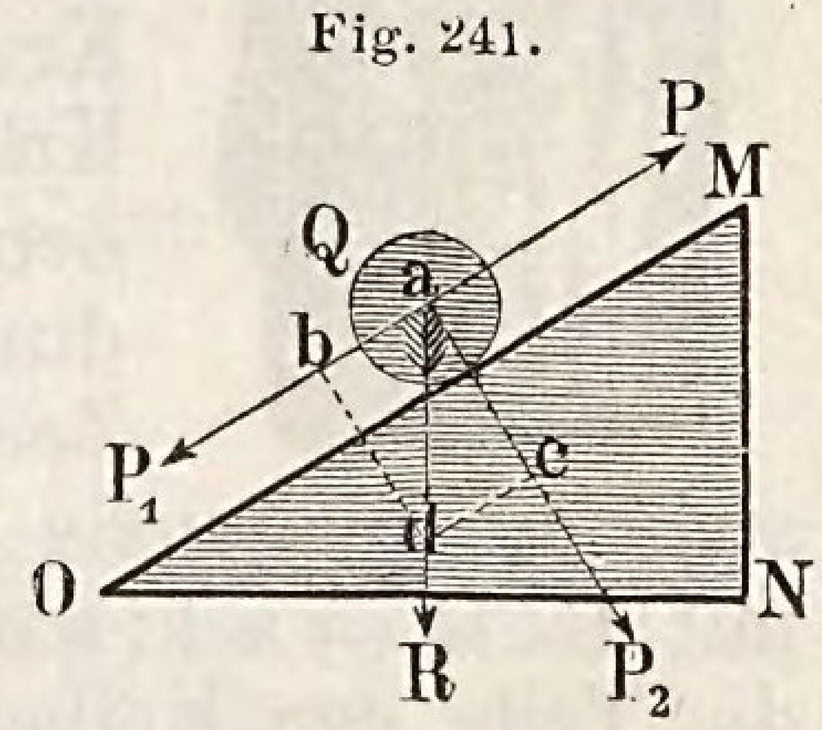
§ 72. Schiefe Ebene, Keil und Schraube. Die Gesetze der schiefen Ebene, des Keiles und der Schraube (§ 11—13) finden ihre eigentliche Erklärung durch das Parallelogramm der Kräfte.

1. Die schiefe Ebene.

a. Die Kraft wirke parallel zur Ebene.

Auf der schiefen Ebene OM (Fig. 241) werde die Last Q durch eine Kraft P parallel zur Ebene im Gleichgewichte gehalten; der Schwerpunkt a des Körpers Q sei der Angriffspunkt dieser Kraft. Um die Gröfse der Kraft P zu erhalten, bestimmen wir zunächst die Gröfse einer Kraft P_1, welche jener Kraft gerade entgegengesetzt ist; sind beide gleich, so mufs offenbar Gleichgewicht eintreten. Diese Kraft ergiebt sich dadurch, dafs man die durch das Gewicht des Körpers gegebene senkrechte Zugkraft R = ad, als deren Angriffspunkt ebenfalls der Schwerpunkt des Körpers angesehen werden kann, durch das Parallelogramm abdc in 2 Seitenkräfte zerlegt, von denen die eine der Ebene parallel, die andere senkrecht zur Ebene gerichtet ist, die erstere also nur eine Bewegung, die letztere nur einen Druck zu erzeugen vermag. In welchem Verhältnis steht dann die Kraft P_1, also auch die Kraft P, zur Last, und wie grofs ist der Druck, welchen die schiefe Ebene durch die Last erleidet?

Fig. 241.



Um das Verhältnis dieser Kräfte durch die Teile der schiefen Ebene ausdrücken zu können, sind die beiden rechtwinkligen Dreiecke abd und MNO miteinander zu vergleichen. Es ist

$\triangle abd \sim \triangle MNO$ (warum?), folglich $ab : ad = MN : MO$ oder

$P : Q =$ Höhe : Länge der Ebene; $P = Q \cdot \frac{h}{l}$ †)

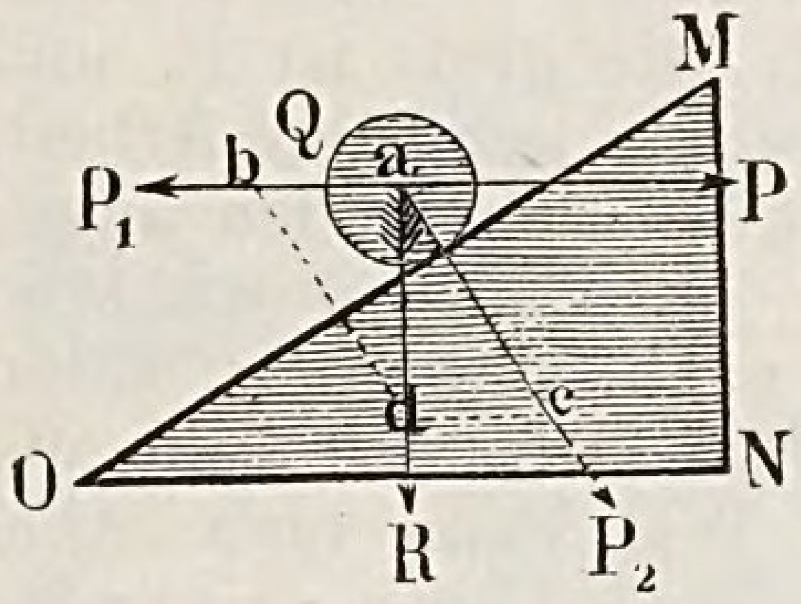
Wie verhält sich der Druck, den die Ebene erleidet, zur Last?

†) Trigonometrisch: $P = Q \cdot \sin w$, wenn w den Neigungswinkel der schiefen Ebene bezeichnet (weil $ab = ad \cdot \sin \sphericalangle bda$ und $\sphericalangle bda = w$).

b. Die Kraft wirke **parallel zur Basis** der Ebene.

Wie ist Fig 242 nach obigem zu erklären? — In welchem Verhältnis stehen die Kräfte P_1 und P_2 zur Last Q? — Es ist auch hier

Fig. 242.



$\triangle\, bad \sim \triangle\, MNO$ (warum?), folglich
$ab : ad = MN : NO$ oder

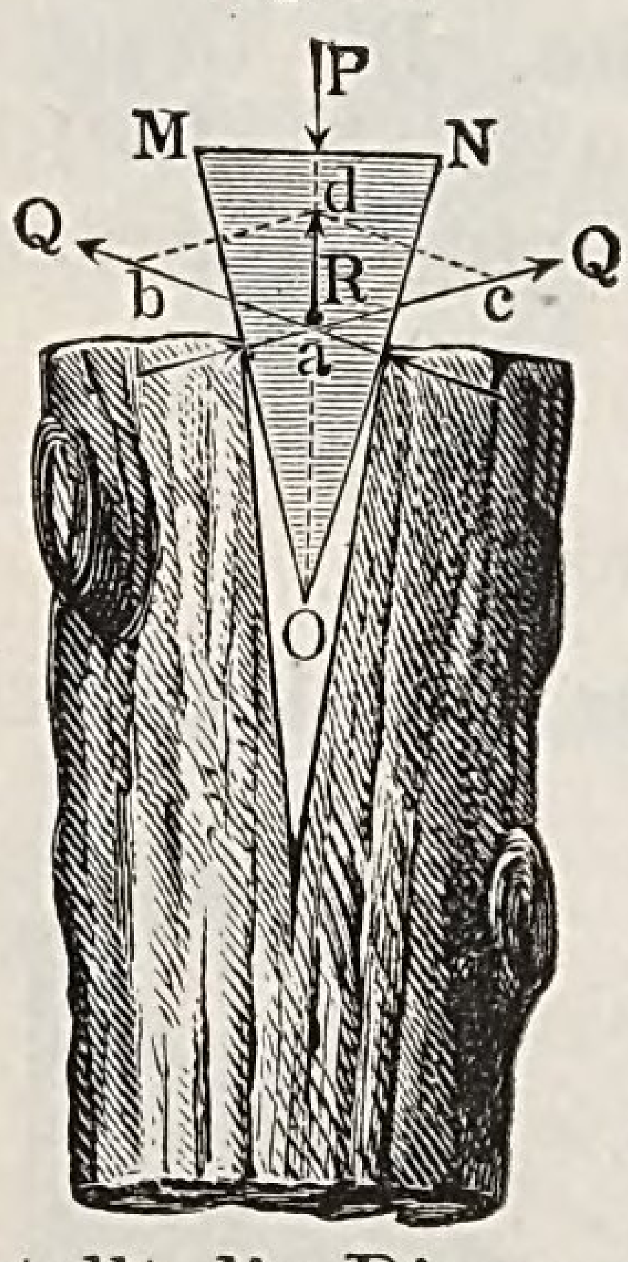
$P : Q =$ Höhe : Basis der Ebene; $P = Q \cdot \frac{h}{b}$. †)

Wie verhält sich der Druck, den die Ebene erleidet, zur Last? — Wie erklärt es sich, daſs der Druck auf die Ebene in diesem Falle gröſser ist als das Gewicht des Körpers?

2. Der Keil.

MON, Fig. 243, stelle einen Doppelkeil dar, auf welchen senkrecht gegen seine Seiten der Druck Q wirke; diesen beiden Kräften soll durch eine senkrecht auf den Rücken wirkende Kraft P das Gleichgewicht gehalten werden. — Da der Keil sich unter der alleinigen Wirkung der beiden seitlichen Druckkräfte aufwärts bewegen würde, so muſs offenbar Gleichgewicht entstehen, wenn die Kraft P ebensogroſs ist als eine ihr gerade entgegengesetzte Kraft, welche als die Mittelkraft jener beiden Druckkräfte angesehen werden kann. Zur Bestimmung dieser Kraft denken wir uns die Angriffspunkte der seitlichen Kräfte nach dem auf der Mittellinie des Keiles liegenden Punkte a verlegt und die Gröſse dieser Kräfte durch die gleichen Geraden ab und ac dargestellt. Zeichnet man dann das Parallelogramm der Kräfte, so stellt die Diagonale ad die gesuchte Mittelkraft R dar. Es verhält sich somit $P : Q = ad : ab$ (oder ac). Dasselbe Verhältnis läſst sich auch durch die Teile des Keiles ausdrücken, denn es ist

Fig. 243.



$\triangle\, dba \sim \triangle\, MON$, da ihre Seiten paarweise senkrecht aufeinander stehen, ihre Winkel also beziehungsweise gleich sind. Folglich

$ad : ab = MN : MO$ oder $P : Q =$ Rücken : Seite des Keiles. ††)

Beim einfachen Keil, dessen Querschnitt ein rechtwinkliges Dreieck ist, kommt das Gesetz der schiefen Ebene zur Anwendung (die Kraft wirkt parallel der Basis der Ebene).

3. Die Schraube.

Da man sich die Schraube als eine um einen Cylinder gewundene schiefe Ebene vorstellen kann, deren Länge den Schraubengang und deren Basis den Umfang des Cylinders darstellt, so haben die auf

†) Trigonometrisch: $P = Q \cdot \text{tang}\, w$, wenn w wiederum den Neigungswinkel der Ebene bezeichnet (weil $ab = ad \cdot \text{tang} \sphericalangle bda$ und $\sphericalangle bda = w$).

††) Trigonometrisch: $P = 2Q \cdot \sin \frac{w}{2}$, wenn w ($= \sphericalangle dba$) den Keilwinkel bezeichnet ($\frac{1}{2} ad = ab \cdot \sin \frac{\sphericalangle dba}{2}$; folglich $ad = 2ab \cdot \sin \frac{\sphericalangle dba}{2}$).

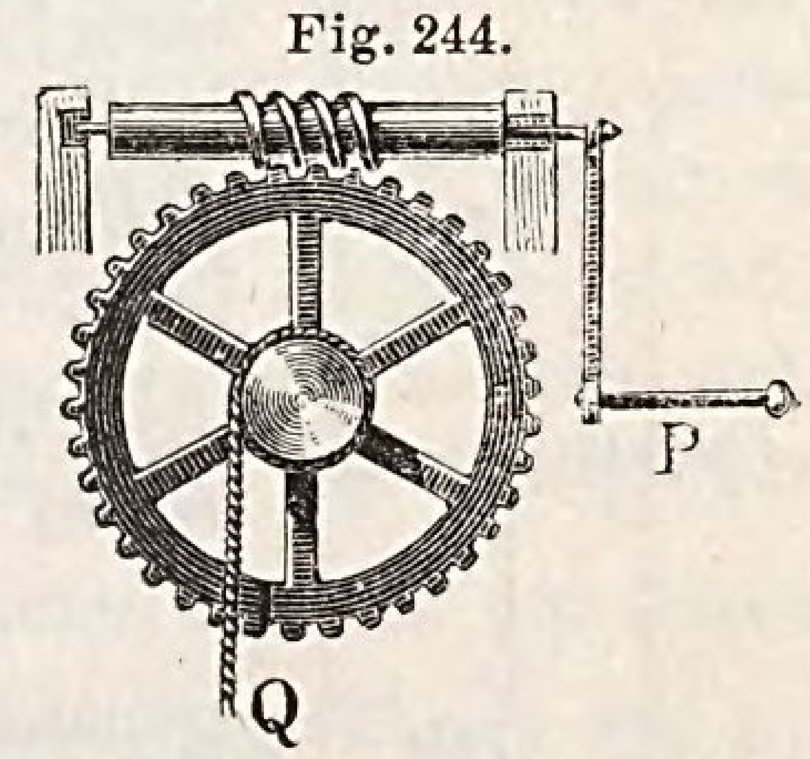
Fig. 243 bezüglichen Betrachtungen zugleich für die Schraube Giltigkeit. Man erhält also mit veränderter Bezeichnung:

P : Q = Ganghöhe : Umfang der Schraube oder
P : Q = Ganghöhe : Kreisweg der Kraft.

Der letztere Ausdruck ist insofern allgemeiner, als er auch auf den Fall angewandt werden kann, dafs die Kraft nicht am Umfange der Spindel, sondern wie in Fig. 41 und 42 am äufseren Ende eines durch den Kopf der Spindel gesteckten Stabes wirkt. Die Schraube läfst sich dann sovielmal leichter drehen, wievielmal der Stab (von der Achse der Spindel bis zum Angriffspunkte der Kraft gemessen) länger ist als der Radius der Schraubenspindel, denn der Stab stellt offenbar einen Hebel dar, dessen Drehpunkt mit der Achse zusammenfällt, und dessen Angriffspunkt der Last am Umfange der Spindel liegt.

Die Schraube ohne Ende. Sie besteht aus einer Schraubenspindel, deren Windungen in die Zähne eines Wellrades eingreifen. Die Kraft wirkt an einer an der Schraubenspindel befestigten Kurbel, die Last mittelst eines Seiles oder einer Kette an der Welle. Durch jede Umdrehung der Spindel wird das Zahnrad um eine Ganghöhe verschoben. Bezeichnet r den Radius der Welle, R den des Rades, h die Ganghöhe der Schraube, W den Kreisweg der Kraft, so ist, wenn wir wie bei der Seilwinde (§ 71) mit D den Druck bezeichnen, welchen die Zähne des Wellrades und die Schraubengänge gegeneinander ausüben,

Fig. 244.



$$D = \frac{r}{R} . Q, \text{ aber auch } = \frac{W}{h} . P, \text{ folglich}$$

$$\frac{r}{R} . Q = \frac{W}{h} . P, \text{ also auch } r . h . Q = R . W . P, \text{ mithin}$$

$$P : Q = r . h : R . W; \text{ in Worten?}$$

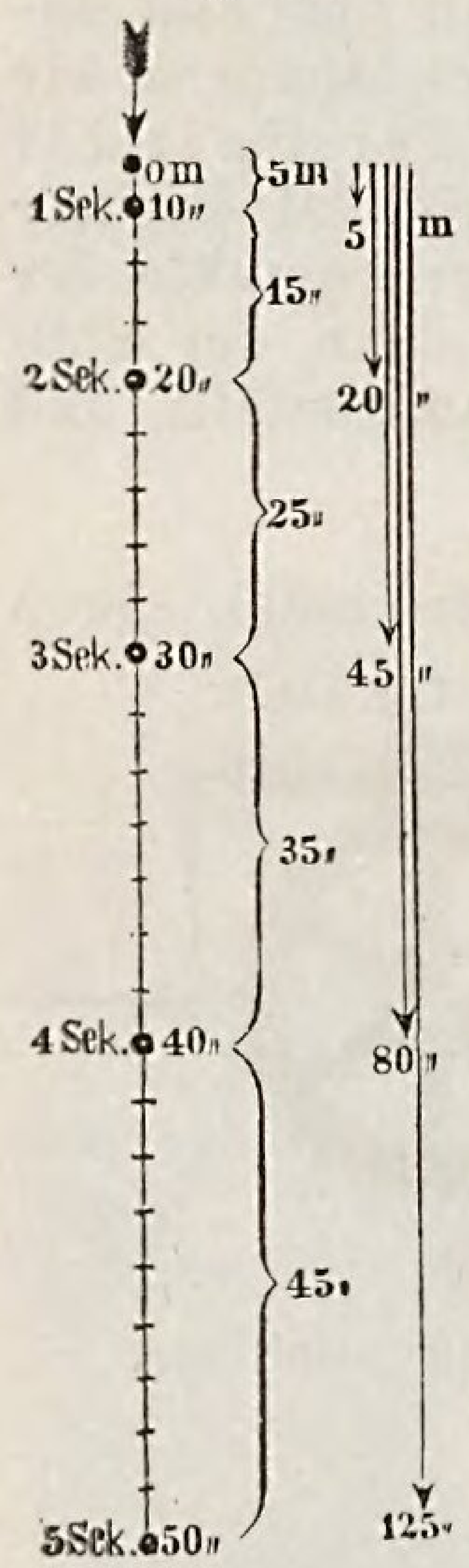
Übungsstoff. **1.** Warum sind in den Kräfte-Parallelogrammen, Fig. 241 und 242, die Richtungen der Seitenkräfte so gewählt, dafs die eine derselben der Kraft P gerade entgegengesetzt ist, die andere senkrecht zur Ebene wirkt? — **2.** Welchen Einflufs mufs es auf die Länge der Seiten jener Parallelogramme ausüben, wenn der Neigungswinkel der Ebene a. kleiner, b. gröfser wird? — **3.** Beurteile hiernach die Veränderung, welche 1) die Gröfse der Kraft P, 2) die Gröfse des Druckes dadurch erfährt. — **4.** Vergleiche die Druckwirkungen, welche die Ebene (Fig. 241 und 242) durch die gleiche Last bei Herstellung des Glgew. erleidet, wenn der Neigungswinkel derselbe ist. — **5.** Bei welcher Richtung der Kraft P mufs dieser Druck noch gröfser sein? — **6.** Wie ändert sich beim Keile (Fig. 243) die Richtung der Seiten des Parallelogramms, wenn der Keilwinkel seine Gröfse ändert? — **7.** Welchen Einflufs übt dies auf die Länge der Diagonale aus? — **8.** Inwiefern ist daher die Gröfse der Kraft von der Gröfse des Keilwinkels abhängig? — **9.** Unter den drehbaren einfachen Maschinen ist die Schraube diejenige, bei welcher am meisten an Kraft gewonnen werden kann, warum? — **10.** In welchem Verhältnis vergröfsert sich die Wirkung der Schraube, wenn die Kr. an einem durch den Kopf derselben gesteckten Stabe wirkt? — **11.** Die Kurbel einer Schraube ohne Ende sei 25 cm lang, die Ganghöhe 2 cm, der Halbmesser des Zahnrades 40 cm, derjenige der Welle 8 cm. a. Wv. L. kann dann mit 10 kg Kr. überwunden werden? b. Welchen Weg mufs die Kr. zurücklegen, wenn die L. um 2 m gehoben werden soll? c. Welche Arbeit wird dabei geleistet?

C. Besondere Bewegungen.

§ 73. Freier Fall und senkrechter Wurf.

1. Der freie Fall. Im luftleeren Raume fallen alle Körper gleichschnell (vergl. § 6). Da der *freie Fall* durch die Schwerkraft, also durch eine unveränderlich wirkende Kraft hervorgerufen wird, so mufs derselbe eine *gleichmäfsig beschleunigte Bewegung* sein (§ 57). Die Gröfse der Beschleunigung, welche die Schwerkraft einem frei fallenden Körper zu erteilen vermag, läfst sich durch das freie Fallen desselben nur annähernd ermitteln, da die Bewegung zu schnell erfolgt und im lufterfüllten Raume der Widerstand der Luft hemmend auf dieselbe einwirkt. Berechnungen, welche man auf Grund sehr genauer Pendelversuche anstellte, haben ergeben, dafs *ein im luftleeren Raume frei fallender Körper unter 45° geographischer Breite in 1 Sek. eine Geschwindigkeit von nahezu 9,806 m erlangt* (am Äquator 9,708, in Berlin annähernd 9,813, am Pol beinahe 5 cm mehr als am Äquator.)

Fig. 245.



Diese Geschwindigkeit wird **Beschleunigung der Schwere** genannt und mit g *(gravitas)* bezeichnet. Nimmt man dieselbe abgerundet zu 10 m an, so hat der Körper in der 1. Sekunde des freien Falles einen Weg von 5 m zurückgelegt, denn da seine Geschwindigkeit von 0 bis 10 m gleichmäfsig wächst, so mufs der zurückgelegte Weg dem arithmetischen Mittel beider Zahlen entsprechen, also $\frac{0 + 10}{2} = 5$ m sein (vergl. §§ 57 und 58). Da die Schwere auch in der 2. Sek. in gleicher Weise wie in der 1. Sek. auf den fallenden Körper einwirkt, so mufs sie auch seine Geschwindigkeit um gleichviel vermehren, mithin beträgt die zu Ende der 2. Sek. erlangte Geschwindigkeit 20 m; der Fallraum der 2. Sek. aber ist $\frac{10 + 20}{2} = 15$ m u. s. w. Die auf diese Weise abgeleiteten Endgeschwindigkeiten und Fallräume stellt Fig. 245 dar; in Form einer Tabelle lassen sich dieselben übersichtlich zusammenstellen.

Anzahl der Sekunden	Endgeschwindigkeit	Fallräume der einzelnen Sek.	Gesamtfallraum
1	$1 \cdot g$	$\frac{1}{2} \cdot g$	$1 \cdot 1 \frac{g}{2}$
2	$2 \cdot g$	$\frac{3}{2} \cdot g$	$2 \cdot 2 \frac{g}{2}$
3	$3 \cdot g$	$\frac{5}{2} \cdot g$	$3 \cdot 3 \frac{g}{2}$
.	.	.	.
.	.	.	.
t	$t \cdot g$	$(t - \frac{1}{2}) \cdot g$	$t \cdot t \frac{g}{2}$

Aus dieser Zusammenstellung ergiebt sich das Gesetz:

Die Endgeschwindigkeiten eines frei fallenden Körpers wachsen wie die Fallzeiten, die einzelnen Fallräume wie die ungeraden Zahlen und die ganzen Fallräume wie die Quadrate der Fallzeiten.

Ein kürzerer Ausdruck für dieses Gesetz ist durch die Gleichungen gegeben:

$$\text{I. } v = gt; \qquad \text{II. } s_1 = (t - \tfrac{1}{2})g; \qquad \text{III. } s = \frac{g}{2} \cdot t^2.$$

Gleichung I giebt die Formel für die Berechnung der Endgeschwindgkeit (v), Gleichung II für die Berechnung der einzelnen Fallräume (s_1), Gleichung III für die des Gesamtfallraumes (s). Setzt man den Wert $t^2 = \frac{2s}{g}$ (aus Gl. II) in die Gl. $v^2 = g^2 t^2$ (Gl. I quadriert) ein, so ergiebt sich

$$v^2 = g^2 \cdot \frac{2s}{g} = 2gs$$

$$v = \sqrt{2gs},$$ wonach sich die Endgeschw. aus der Fallhöhe berechnen läfst.

Bem. Wie hier, so ist auch in den folgenden Paragraphen bei allen Bewegungen im lufterfüllten Raume vom Widerstande der Luft abgesehen.

Die Fallgesetze wurden von Galilei (geb. 1564 zu Pisa, gest. 1642) im Jahre 1602 aus Beobachtungen abgeleitet, welche derselbe an glattpolierten Messingkugeln machte, die in schräg gestellten, mit glattem Pergament ausgelegten hölzernen Rinnen herabrollten. Dadurch wurde die Fallbewegung verlangsamt, denn die Kraft, mit welcher ein Körper sich auf einer **schiefen Ebene** hinabbewegt, verhält sich (nach § 72) zu der Kraft, mit welcher er frei fällt, wie die Höhe der Ebene zur Länge derselben. Beträgt die Steigung der Ebene $\frac{1}{n}$, so hat man alle für den freien Fall gültigen Werte mit $\frac{1}{n}$ zu multiplizieren, um die entsprechenden Werte für die schiefe Ebene zu erhalten. In demselben Verhältnis ist also auch die Beschleunigung beim Falle auf der schiefen Ebene geringer als beim freien Falle.†) Am einfachsten und sichersten gelingt der Nachweis der Fallgesetze mittelst der **Atwoodschen Fallmaschine** (§ 58). Die genaue Beobachtung des wirklichen freien Falles, die Benzenberg (1802) am Michaelisturm in Hamburg und Reich (1832) in einem Bergwerkschacht in Freiberg mit grofser Sorgfalt vornahmen, ist schwierig und schon dadurch sehr beschränkt, dafs die erforderlichen grofsen Fallräume nicht vorhanden sind.

2. Der senkrechte Wurf. Während beim freien Falle nur eine Kraft wirkt, sind die Wurfbewegungen ein Ergebnis vom Zusammenwirken zweier Kräfte. Die einzelnen Bewegungsrichtungen, in welchen die Wurfkraft und die Schwerkraft auf den geworfenen Körper einwirken, bilden entweder eine gerade Linie (senkrechter Wurf), oder sie schliefsen einen Winkel ein (wagerechter und schiefer Wurf). Wird der Körper senkrecht aufwärts geworfen, so wirkt die Schwerkraft der Wurfkraft gerade entgegen. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Körper aufsteigt, mufs daher in jeder folgenden Sekunde seiner aufwärts gerichteten Bewegung um 10 m abnehmen; *die Bewegung ist somit eine gleichmäfsig verzögerte.* Wird ein Körper senkrecht abwärts geworfen, so

†) Trigonometrisch ausgedrückt: $g_1 = g \cdot \sin w$, wenn g_1 die Beschleunigung beim Fall auf der schiefen Ebene und w den Neigungswinkel der Ebene bezeichnet. Die oben aufgestellten Formeln für den freien Fall behalten Giltgkeit für den Fall auf der schiefen Ebene, wenn in denselben statt g überall $g_1 = g \cdot \sin w$ gesetzt wird. Die Endgeschw., mit welcher ein Körper am Fufse der schiefen Ebene ankommt, nachdem er die Länge derselben durchlaufen hat, ergiebt sich demnach: $v = \sqrt{2g_1 s} = \sqrt{2g \cdot \sin w \cdot s} = \sqrt{2g \cdot \frac{h}{l} \cdot l} = \sqrt{2gh}$; in Worten?

vergröſsert sich seine Geschwindigkeit durch die Schwerkraft in jeder Sekunde um 10 m; *die Bewegung ist also eine gleichmäſsig beschleunigte.*

Beispiel zum senkrecht aufwärts gerichteten Wurfe.

a. Geschwindigkeiten

beim Steigen: (Von unten zu lesen.)	beim Fallen: (Von oben zu lesen.)
„ „ „ 5. „ 50—5.10 = 0 „	Anfangsgeschwindigkeit 0 m
„ „ „ 4. „ 50—4.10 = 10 „	Geschw. nach der 1. Sek. 10 „
„ „ „ 3. „ 50—3.10 = 20 „	„ „ „ 2. „ 20 „
„ „ „ 2. „ 50—2.10 = 30 „	„ „ „ 3. „ 30 „
Geschw. nach d. 1. Sek. 50—1.10 = 40 m	„ „ „ 4. „ 40 „
Anfangsgeschwindigkeit 50 m	„ „ „ 5. „ 50 „

Die Geschwindigkeit eines senkrecht geworfenen Körpers nimmt beim abwärts gerichteten Wurfe um ebensoviel zu, beim aufwärts gerichteten Wurfe während des Steigens um ebensoviel ab, als sie beim freien Falle in der gleichen Zeit zunimmt.

Wenn a die Anfangsgeschwindigkeit bezeichnet und v, g und t die oben angegebene Bedeutung haben, so ist in Zeichen:

$$v = a \pm gt.$$

Hat der Körper den höchsten Punkt seiner Bahn erreicht, so ist $v = o$. Setzt man dies in der Gleichung $v = a - gt$ ein, so erhält man

$$gt = a$$ und daraus die Steigdauer

$$t = \frac{a}{g};$$ in Worten?

Für die Endgeschwindigkeit beim Fallen ergiebt sich demnach:

$$v = gt = g.\frac{a}{g} = a;$$ in Worten?

Ein senkrecht aufwärts geworfener Körper steigt ebenso lange, als er fällt; die Endgeschwindigkeit, welche er durch das Herabfallen erlangt, ist gleich der Anfangsgeschwindigkeit a.

b. Höhen und Fallräume.

(Von unten zu lesen.)	(Von oben zu lesen.)
„ „ „ „ „ 5. „ 50—9.5 = 5 „	Der K. fällt in der 1. Sek. 1 . 5 = 5 m
„ „ „ „ „ 4. „ 50—7.5 = 15 „	„ „ „ „ „ 2. „ 3 . 5 = 15 „
„ „ „ „ „ 3. „ 50—5.5 = 25 „	„ „ „ „ „ 3. „ 5 . 5 = 25 „
„ „ „ „ „ 2. „ 50—3.5 = 35 „	„ „ „ „ „ 4. „ 7 . 5 = 35 „
Der K. steigt in d. 1. Sek. 50—1.5 = 45 m	„ „ „ „ „ 5. „ 9 . 5 = 45 „

Da der Weg, welchen ein in gerader Linie zu zwei Bewegungen angeregter Körper zurücklegt, bei entgegengesetzter Richtung der Kräfte gleich dem Unterschiede der Einzelwege ist (§ 63), so gilt der Satz:

Die Steighöhe eines senkrecht aufwärts geworfenen Körpers ist um den Fallraum der Steigzeit kleiner als diejenige Höhe, welche er während dieser Zeit durch die Wurfkraft allein erreichen würde.

In Zeichen: $$h = at - t^2 \frac{g}{2}.$$

Drückt man wie oben die Zeit durch die Wurfgeschwindigkeit und die Beschleunigung der Schwere aus ($t = \frac{a}{g}$), so erhält man:

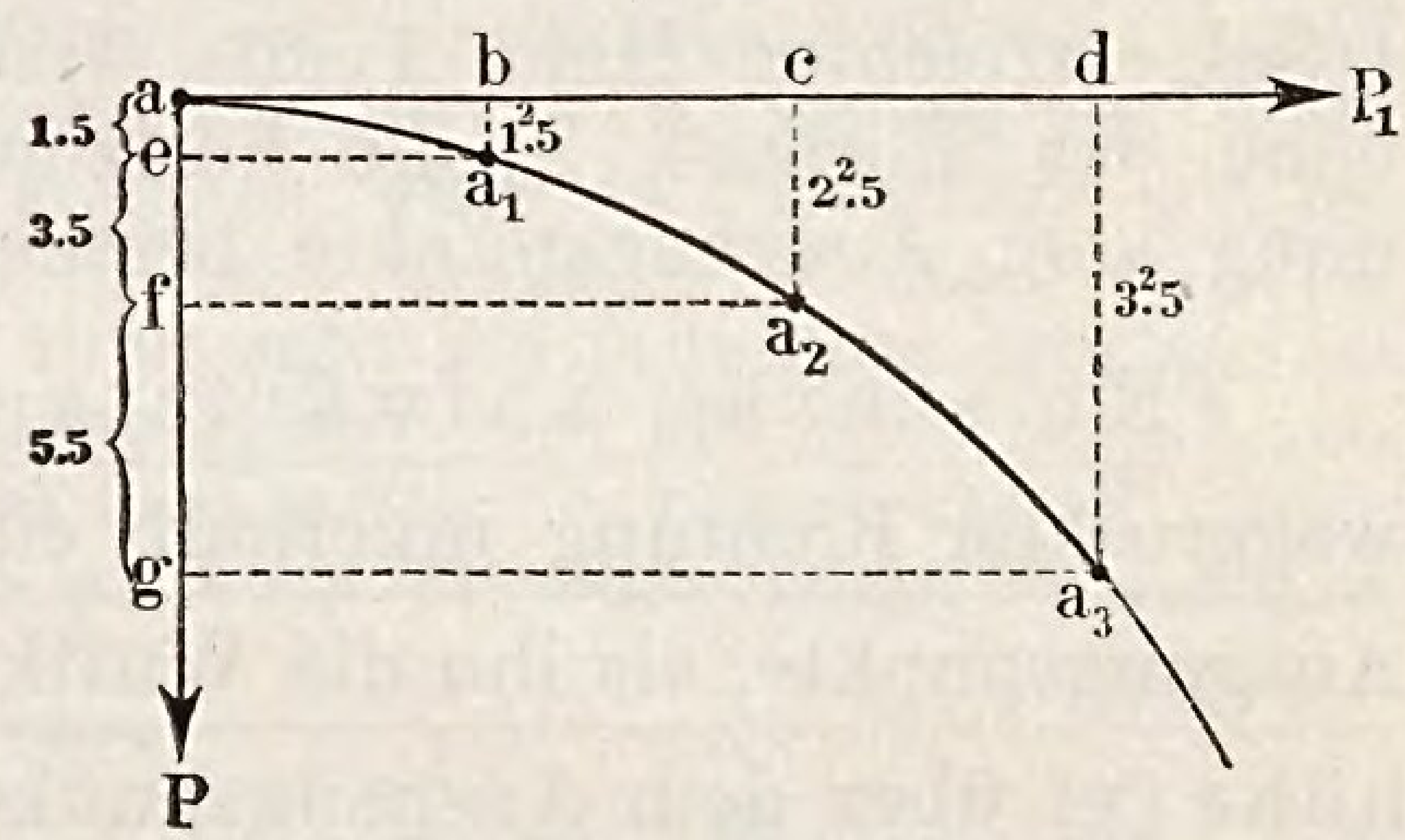
$$h = \frac{a_2}{2g};$$ in Worten?

Übungsstoff. 1. Ist die Meinung richtig, ein K. falle deshalb immer schneller, weil die Erde ihn immer stärker anziehe? Grund! — 2. Wie mag sich diese Meinung gebildet haben? — 3. Wie erklärt es sich, dafs die Geschw. des freien Falles mit der Fallmaschine (Fig. 188) nachgewiesen werden können, obgleich die Bewegung viel langsamer erfolgt? — 4. Bei jenen Versuchen war die Beschleunigung *20 cm*, wenn $Q = Q_1 = 122{,}5$ g und $p = 5$ g, desgl. *40 cm*, wenn $Q = Q_1 = 120$ g und $p = 10$ g, ferner wieder *20 cm*, wenn $Q = Q_1 = 245$ g und $p = 10$ g. Grund! — 5. Wie grofs etwa hätten die Gewichte sein müssen, wenn die Beschleunigungen ebensoviel cm betragen sollten, als sie beim freien Falle Meter betragen? — 6. Wie ist durch eine rinnenförmige schiefe Ebene dasselbe zu erreichen? — 7. Ein Stein gebrauche 4 Sek., um von einem Turme frei auf den Boden zu fallen. a. Endgeschw., b. Höhe des Turmes? — 8. Wv. später ist das Aufschlagen des Steines von oben zu hören, als unten? — 9. Auf der Festung Königstein befindet sich ein Brunnen von solcher Tiefe, dafs ein hinabfallender Stein erst nach $5\frac{1}{2}$ Sek. unten ankommt? Wie tief ist der Brunnen? — 10. Wievielmal so schnell gelangt dabei der Schall von unten nach oben als der Stein nach unten? — 11. Wievielmal so grofs ist der Luftwiderstand beim freien Falle nach 2, 3, 4, 5 Sek. als nach 1 Sek.? (§ 61.) — 12. Geschw. einer senkrecht aufwärts geschossenen Kugel nach 10 Sek.? (Wurfgeschw. = 300 m.) — 13. Nach wv. Sek. kommt die Kugel unten wieder an? Steighöhe! — 14. Wie grofs ist ihre Geschw. 5 Sek. vor dem Aufschlagen auf den Boden? — 15. Eine andere Kugel bleibe 1 Minute aus. Wie hoch ist sie gestiegen?

§ 74. Wagerechter und schiefer Wurf.

1. Der wagerechte Wurf. Angenommen, eine Kugel werde in wagerechter Richtung abgeschossen und lege in 1 Sekunde den Weg ab zurück (Fig. 246). Wirkte dann keine andere Kraft auf die Kugel ein, so würde diese sich vermöge der Trägheit stets in derselben Richtung mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegen (ab = bc = cd u. s. w.); ihre Bahn bildete eine gerade Linie. Da die Kugel jedoch der Wirkung der Schwerkraft unterliegt, so sinkt sie innerhalb der 1. Sek. um den Fallraum dieser Sekunde, nämlich um 5 m, unter die Schufslinie herab, in der 2. Sek. um **3** . 5 m, in der 3. Sek. um **5** . 5 m u. s. w.; oder in 2 Sek. um $2^2 . 5$ m, in 3 Sek. um $3^2 . 5$ m u. s. w. Man erhält demnach den *Ort,* an welchem die abgeschossene Kugel nach Ablauf einer jeden Sek. unter der Wirkung der Schwerkraft ankommt, durch das Parallelogramm der Bewegungen. Die *Wege,* welche die Kugel in den einzelnen Sekunden zurücklegt, können nicht geradlinig sein. Wäre letzteres der Fall, so müfste die Kugel z. B. nach $\frac{1}{2}$ Sek. schon um die Hälfte von 5 m gesunken sein. Dies ist unmöglich, da jeder frei fallende Körper wegen der zunehmenden Geschwindigkeit in jedem folgenden Zeitteilchen einen gröfseren Weg zurücklegt als in dem vorhergehenden. Die Kugel mufs somit nach $\frac{1}{2}$ Sek. sich noch über der Diagonale des Parallelogramms befinden. Dasselbe gilt auch für jeden anderen Bruchteil der 1. Sek. wie für alle folgenden Sekunden. Da die Ablenkung von der eingeschlagenen Richtung eine stetige ist und gesetzmäfsig erfolgt, so mufs die Bahn der Kugel eine *gesetzmäfsig gekrümmte Linie* sein.

Fig. 246.



Ein wagerecht geworfener Körper entfernt sich in wagerechter Richtung innerhalb einer bestimmten Zeit so weit von seinem Ausgangspunkte, als ihn die Wurfkraft allein treiben würde; er sinkt dabei so tief herab, als ob er der Schwerkraft allein folgte.

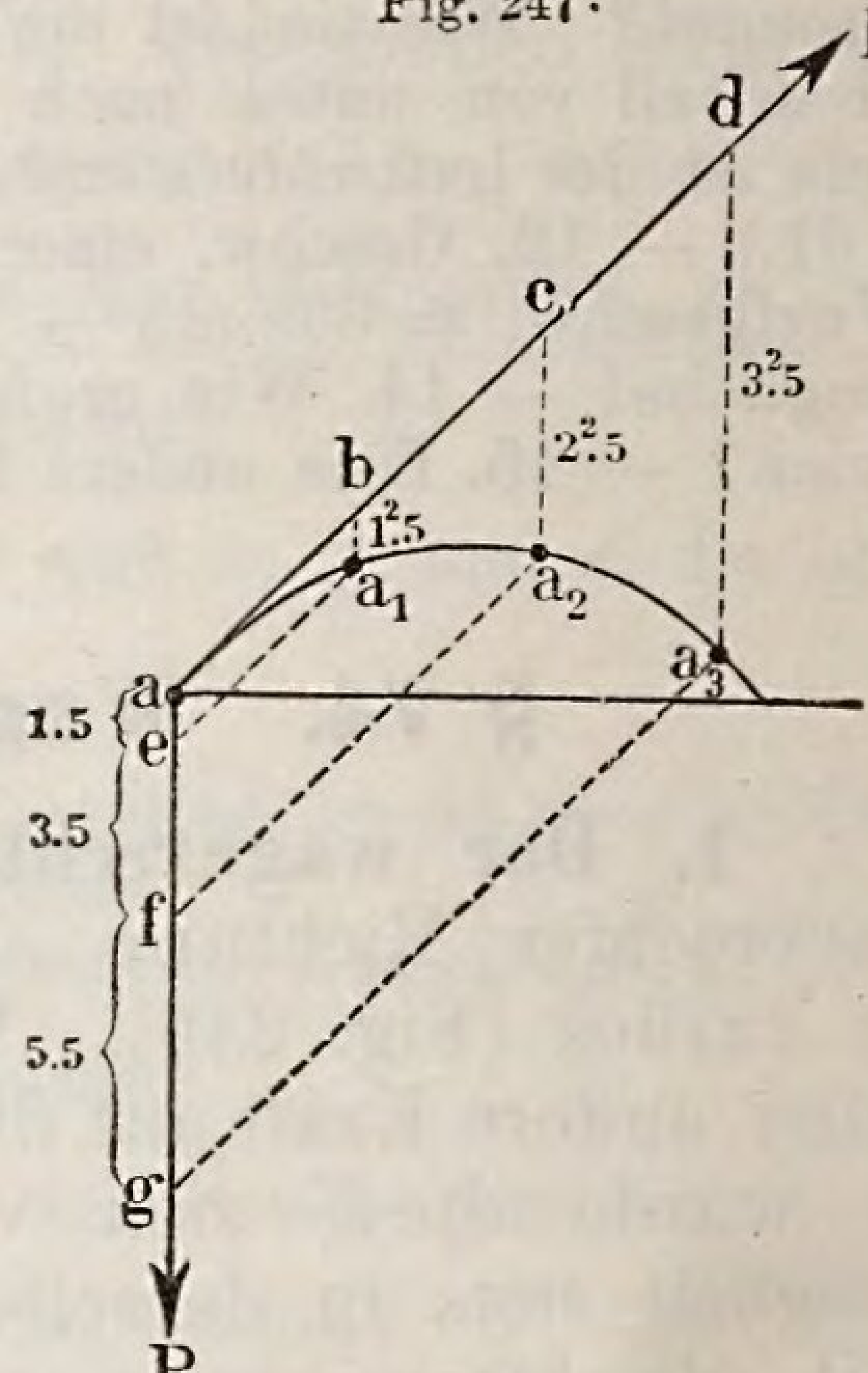
Wenn y die wagerechte Entfernung, a die Anfangsgeschwindigkeit und x die Tiefe unter der Horizontalen bezeichnet, so ist in Zeichen:

$$y = ta \text{ und } x = t^2 \cdot \frac{g}{2}.$$

2. Der schiefe Wurf. Wird ein Körper unter irgend einem Winkel schräg aufwärts geworfen, so mufs seine Bahn ähnlich wie beim wagerechten Wurfe eine *gesetzmäfsig gekrümmte Linie* bilden.

Wie läfst sich die Wurfbewegung für den schiefen Wurf nach obigem unter Anleitung von Fig. 247 erklären? Vergleiche ferner die Dreiecke miteinander, welche entstehen, wenn man sich die von b, c und d ausgehenden Senkrechten bis zur wagerechten Geraden verlängert denkt. Wie läfst sich hiernach aus der Anfangsgeschwindigkeit des geworfenen Körpers und der durch die Wurfkraft allein in 1 Sek. erreichten Höhe 1) die wirkliche Steighöhe des Körpers, 2) die horizontale Entfernung vom Ausgangspunkte berechnen?

Fig. 247.



Ein schräg aufwärts geworfener Körper entfernt sich in wagerechter Richtung innerhalb einer bestimmten Zeit so weit von seinem Ausgangspunkte, als ihn die Wurfkraft allein treiben würde; seine Steighöhe (x) über dem Ausgangspunkte ist um den Fallraum dieser Zeit kleiner als die Höhe (h), welche er durch den Wurf allein erreichen würde.

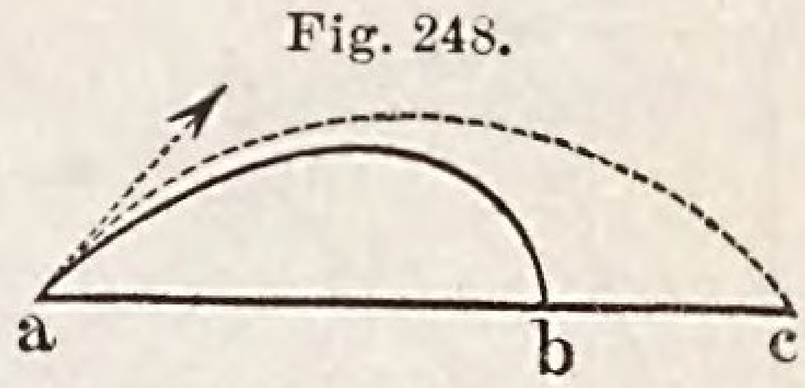
In Zeichen: $y = te$ und $x = th - t^2 \cdot \frac{g}{2}$, wenn e die Strecke bedeutet, um welche der K. sich in 1 Sek. in wagerechter Richtung von seinem Ausgangspunkte entfernt und die übrigen Buchstaben die oben angegebene Bedeutung haben.†)

†) Trigonometrisch: $y = t \cdot a \cdot \cos w$ (1) und $x = t \cdot a \cdot \sin w - t^2 \cdot \frac{g}{2}$ (2), wenn a die Wurfgeschw., w den Elevationswinkel bezeichnet. Wenn der Körper den wagerechten Boden wieder erreicht, so ist x = Null, folglich $t^2 \cdot \frac{g}{2} = t \cdot a \cdot \sin w$ oder $t \cdot \frac{g}{2} = a \cdot \sin w$, also $t = \frac{2\, a \sin w}{g}$ (3), demnach $y = \frac{2\, a \sin w}{g} \cdot a \cos w = \frac{a^2 \cdot \sin 2\, w}{g}$ (da $2 \sin w \cdot \cos w = \sin 2\, w$). Dieser Ausdruck hat seinen gröfsten Wert (gröfste Wurfweite), wenn $\sin 2\, w = 1$, also $2\, w = 90^0$, $w = 45^0$ ist — Ist $\sphericalangle w < 45^0$, so erhält man durch Einsetzen des Winkels und seines Komplement-

Durch Zeichnung wie durch Rechnung läfst sich nachweisen, dafs die Wurfweite am gröfsten ist, wenn der Winkel, den die Wurfrichtung mit der wagerechten Richtung bildet *(Erhebungs- oder Elevationswinkel)*, 45^{0} beträgt. Jede andere, geringere Entfernung kann durch 2 Neigungswinkel erreicht werden, von denen der eine ebensoviel kleiner, als der andere gröfser ist als 45^{0} (45^{0} — n und 45^{0} + n).

Die Bahn, welche ein in wagerechter oder schräger Richtung geworfener Körper zurücklegen würde, wenn die Luft der Bewegung nicht hemmend entgegenwirkte, ist eine *Parabel*. Bei dem wirklichen Wurfe in der Luft ist der absteigende Teil der Bahn, namentlich wenn die zurückgelegte Strecke sehr grofs ist, mit dem aufsteigenden Teile nicht symmetrisch, sondern stärker gekrümmt (*ballistische Kurve*[1]), Fig. 248). Schräg aufsteigende Wasserstrahlen bieten eine gute Veranschaulichung der Wurfbahn. Bei Geschossen übt sowohl deren Form, als auch die Art ihrer Bewegung einen Einflufs auf die Gestalt der Flugbahn aus (Achsendrehung der Spitzkugeln gezogener Geschütze).

Fig. 248.



Die genaue Kenntnis der Flugbahn der Geschosse ist besonders für die Artillerie sehr wichtig.

Übungsstoff. 1. Die Wurfgeschw. der beiden K., deren Bahnen in Fig. 246 und 247 dargestellt sind, sei 400 m. Wievielmal so lang würde dann ab als ae sein müssen, wenn die Verhältnisse dieser Linien der Wirklichkeit entsprechen sollten? — 2. Welchen Einflufs übt die Gröfse der Kraft, mit welcher eine Feuerspritze in Thätigkeit gesetzt wird, bei gleicher Richtung des Mundstückes auf Länge und Gestalt des Strahles aus? — 3. Vgl. die Bahn einer wagerechten oder schräg abgeschossenen Kugel mit der Richtung der Achse des Geschützes? — 4. Vgl. beide mit der Richtung der Visierlinie für den Fall, dafs bei aufgeschlagenem Visier gezielt wurde? Wo ist das Visier angebracht, u. w.? — 5. Warum wendet man bei Gewehren für verschiedene Entfernungen Visiere von verschiedener Höhe an, und warum sind bei geringen Entfernungen Visiere unnötig? — 6. Können die wirklichen Bahnen zweier Geschosse verschieden ausfallen, wenn die Pulverkraft und die Richtung der Achse des Geschützrohres dieselbe ist? Grund! — 7. Nach wv. Sek. ist eine schräg aufwärts geschossene Kugel 20 m unter die Schufslinie herabgesunken? — 8. Eine Kugel werde mit einer Anfangsgeschw. von 300 m unter 45^{0} aufwärts geschossen. Wv. Meter würde sie dann nach 4 Sek. in wagerechter Richtung sich entfernt haben und wv. m gestiegen sein, wenn die Luft keinen Widerstand leistete?

§ 75. Die Centralbewegung und die Centralkraft (Centripetalkraft).

Bei einem wagerecht oder schräg geworfenen Körper ist der ganze zurückgelegte Weg im Vergleich zu der Entfernung des Anziehungs-Mittelpunktes (Mittelpunkt der Erde), nach welchem hin die Ablenkung erfolgt, sehr klein. Die Linien ba_1, ca_2, da_3 (Fig. 247), welche die Ablenkungsrichtung angeben, können daher als parallel angesehen werden. Liefse sich die Wurfgeschwindigkeit beliebig steigern, so würden bei der zunehmenden Gröfse des zurückgelegten Weges jene Linien mehr und mehr als Schenkel mefsbarer Winkel betrachtet werden

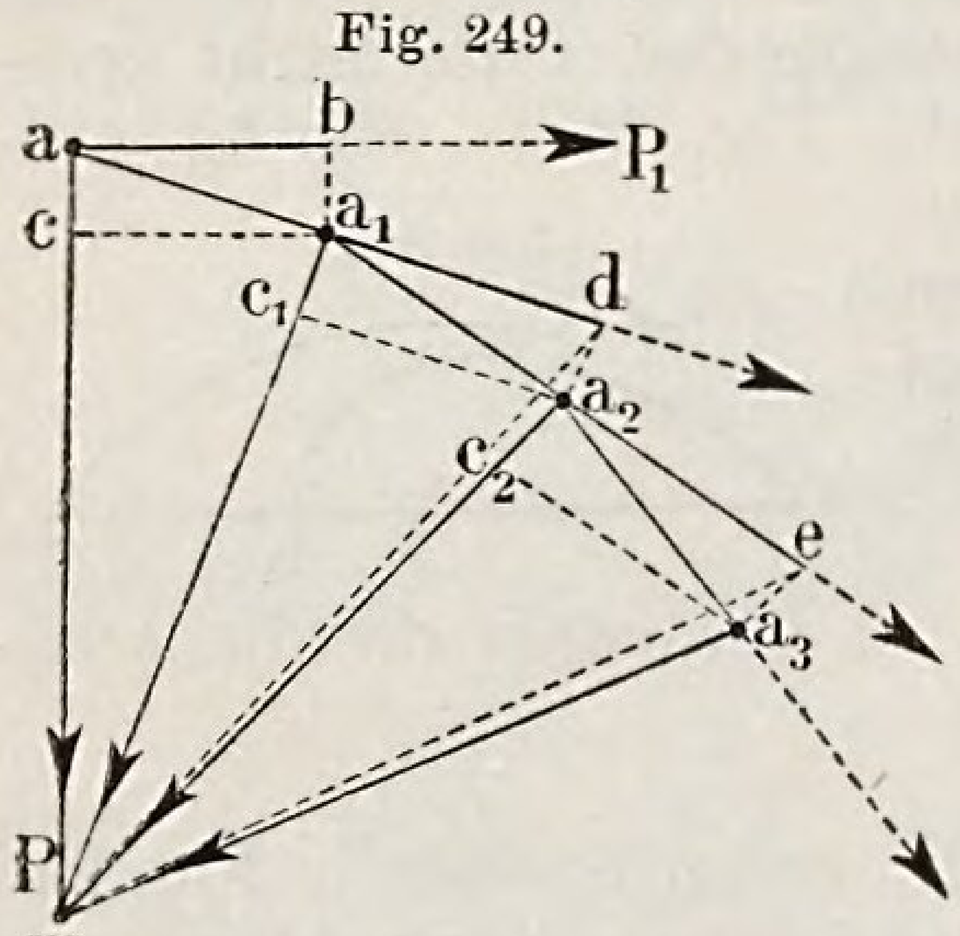
winkels in der Gleichung $y = \frac{a^2 \sin 2w}{g}$ zwei gleiche Werte, da die doppelten Winkel sich zu zwei 2 R ergänzen und ihre Sinus also gleich sind. — Da der geworfene Körper in der 1. Hälfte seiner Bahn ebenso steigt, wie er in 2. Hälfte fällt, so ergiebt sich die gröfste Höhe, wenn man nach (3) für t die Hälfte jenes Wertes, nämlich $\frac{a \sin w}{g}$ in (2) einsetzt: $x = \frac{a^2 \sin^2 w}{2g}$.

[1]) βάλλειν (bállein), werfen und curvus, krumm.

müssen, deren Scheitelpunkte im Mittelpunkte der Erde lägen. Bei genügender Geschwindigkeit würde dann der geworfene Körper, da die Erde kugelförmig ist, den Erdboden überhaupt nicht wieder erreichen, sondern nach Art eines Himmelskörpers die Erde unaufhörlich umkreisen, vorausgesetzt, dafs nicht etwa Bewegungshindernisse hemmend auf die Bewegung einwirkten.

Fig. 249 stelle eine derartige Bewegung, welche man **Centralbewegung**[1]) nennt, dar. Einem in a befindlichen Körper sei durch irgend eine Kraft eine bestimmte Anfangsgeschwindigkeit mitgeteilt, sodafs er infolge seiner Trägheit in gleichförmiger Bewegung fortzugehen bestrebt ist und im 1. Zeitteilchen den Weg a b zurücklegt. Würde dann der Körper zugleich durch eine stetig wirkende Kraft so stark nach m hingezogen, dafs er dieser Kraft allein folgend, im 1. Zeitteilchen von a nach c gelangte, so ist der *Ort*, an welchem er am Ende des 1. Zeitteilchens in Wirklichkeit ankommen mufs, die seinem Ausgangspunkte gegenüberliegende Ecke a_1 des Bewegungsparallelogramms $a c a_1 b$. Der vom Körper während dieses Zeitteilchens zurückgelegte *Weg* kann, da die anziehende Kraft (P) beständig wirkt, nicht geradlinig sein, er mufs aber um so mehr mit der Diagonale $a a_1$ zusammenfallen, je kleiner man das Zeitteilchen annimmt. Wäre das Zeitteilchen, in welchem der Körper von a nach a_1 gelangt, so klein, dafs der Weg als geradlinig angesehen werden könnte, so würde der Körper vermöge der Trägheit seine Bewegung in der Richtung der Diagonale $a a_1$ fortsetzen und in dem folgenden ebenso grofsen Zeitteilchen den Weg $a_1 d = a a_1$ zurücklegen, wenn er nicht durch die in der Richtung nach m hin wirkende Kraft von der Linie $a_1 d$ abgezogen würde. Ist nun $a_1 c_1$ die Strecke, um welche der Körper während dieses Zeitteilchens von seiner Richtung abgelenkt wird, so erhält man den *Ort* a_2, an welchem der Körper nach Ablauf des 2. Zeitteilchens ankommt, wiederum durch das Bewegungsparallelogramm und den zurückgelegten *Weg* durch die Diagonale desselben $a_1 a_2$. Setzt man diese Betrachtung für die folgenden, immer als gleich grofs angenommenen Zeitteilchen weiter fort, so ergiebt sich für den vom Körper zurückgelegten Weg die gebrochene Linie $a a_1 a_2 a_3 \ldots\ldots$ In Wirklichkeit ist wegen der stetigen Wirkung der ablenkenden Kraft *der Weg des Körpers eine gesetzmäfsig gekrümmte Linie,* von der nur die in unendlich kleinen Zeitteilchen zurückgelegten Strecken als geradlinig angesehen werden können.

Fig. 249.



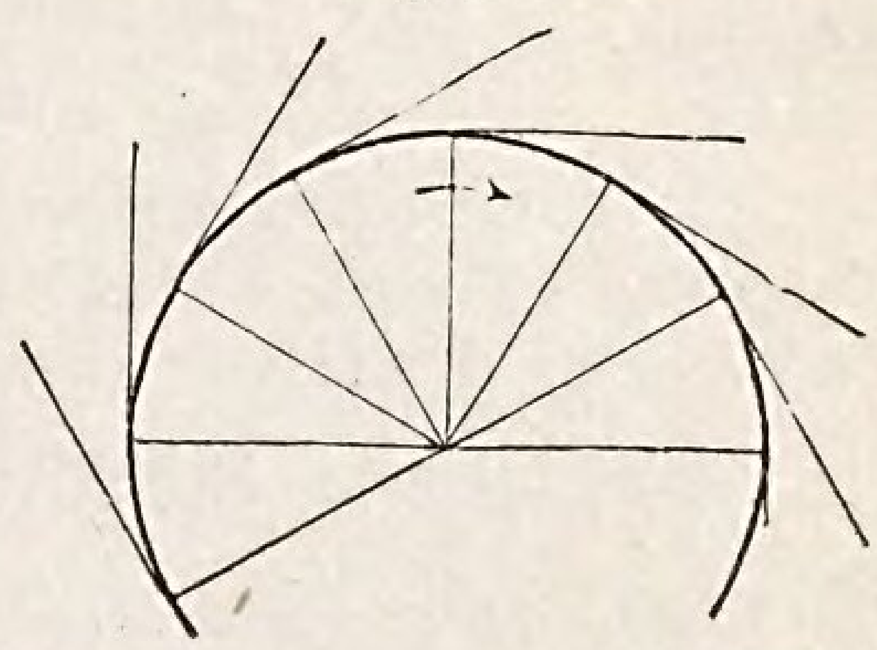
Durch folgenden **Versuch** läfst sich veranschaulichen, wie durch Zusammenwirken eines einmaligen Stofses und einer beständig nach einem festen Mittelpunkt hin wirkenden Kraft eine Centralbewegung zu Stande kommt.

Einer an einem langen Faden schwingenden Pendelkugel erteilt man, wenn sie sich eben an der Stelle ihrer gröfsten Ausweichung be-

[1]) centrum, Mittelpunkt.

findet, einen seitlichen Stofs. Die Kugel beschreibt sodann eine krummlinige Bahn um den festen Punkt ihrer Gleichgewichtslage (Aufhängepunkt des Pendels). Die Form der Bahn ist von der Stärke des Stofses abhängig; ein schwacher Stofs bewirkt, dafs das Pendel in einer Ellipse schwingt, bei bestimmter Stärke des Stofses wird die Bewegung kreisförmig. Brennt man den Faden während der Bewegung ab, so fliegt die Pendelkugel in der Richtung der Tangente fort (Fig. 250); sich selbst überlassen, kommt sie allmählich in Folge des Luftwiderstandes und der Reibung am Aufhängepunkt des Fadens zur Ruhe.

Fig. 250.



Wenn ein Körper, welcher das Bestreben hat, sich in bestimmter Richtung gleichförmig zu bewegen, von einem nicht in dieser Richtung liegenden Punkte aus beständig angezogen wird, so entsteht eine krummlinige Bewegung: **Centralbewegung.**

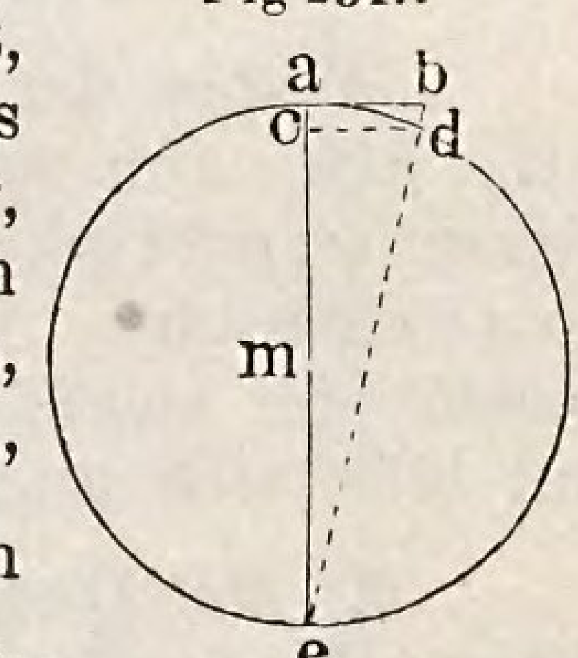
Die Anziehungskraft, welche den bewegten Körper beständig von seiner Bewegungsrichtung ablenkt, heifst **Centralkraft** *oder* **Centripetalkraft** [1]) — *Jede vom Mittelpunkte einer Centralbewegung nach einem beliebigen Punkte der Bahn gezogene Gerade heifst* **Leitstrahl** *oder* **Radiusvector** [2])

Die Geschwindigkeit, mit welcher der bewegte Körper von irgend einem Punkte seiner Bahn aus seine Bewegung geradlinig fortzusetzen strebt, wird **Tangential-Geschwindigkeit** *genannt.*

Die Gröfse der Centralkraft (Centripetalkraft) läfst sich unter der Annahme einer gleichförmigen Bewegung in kreisförmiger Bahn durch eine einfache Rechnung nachweisen.

Man stelle sich vor, ein Körper vom Gewichte Q lege von dem Kreiswege Fig. 251, in einem sehr kleinen Zeitteilchen, etwa in 1 Sek., die Strecke ad, in t Sek. den ganzen Kreisweg zurück. Denkt man sich dann diese kurze Strecke geradlinig und in die beiden Seitenwege ac und ab zerlegt, von denen ab eine Tangente und ac einen Teil des Durchmessers bildet, so stellt ac diejenige Strecke dar, um welche der Körper, wenn er der Centripetalkraft (P) allein folgte, sich in 1 Sek. dem Anziehungspunkte m nähern würde. Mit dem freien Falle verglichen, entspricht die letztere Strecke offenbar dem Fallraume der 1. Sek., den wir mit $\frac{g}{2}$ bezeichnen. Da nun die Gröfsen zweier Kräfte im Verhältnis ihrer Wirkungen zu einander stehen, so ergiebt sich die Proportion $P : Q = ac : \frac{g}{2}$, also $\mathbf{P} = 2 \cdot \frac{Q}{g} \cdot ac = 2 \cdot \frac{Q}{g} \cdot \frac{(ad)^2}{2r} = \frac{\mathbf{Q}}{g} \cdot \frac{(ad)^2}{r}$, denn $ac = \frac{(ad)^2}{2r}$, da $\triangle acd \sim ade$, also $ac : ad = ad : 2r$). Indem man (nach § 59) den Quotienten $\frac{Q}{g}$ als Ausdruck für die Masse des Körpers ansieht, läfst sich die für die Centripetalkraft aufgestellte Formel $\left(P = \frac{Q}{g} \cdot \frac{(ad)^2}{r}\right)$ so aussprechen: Die Centripetalkraft steht im geraden Verhältnis zur Masse und zum Quadrat der Geschwindigkeit des bewegten Körpers und im umgekehrten Verhältnis zum Halbmesser der Bahn.

Fig 251..



[1]) petĕre, streben. — [2]) radius, Strahl und vector, Träger.

Da die Geschwindigkeit aus der Länge der Kreisbahn ($2r\pi$) und der Umlaufszeit (t) berechnet werden mufs, so ist es für die Anwendung der Gleichung zweckmäfsiger, für ad den Wert $\frac{2r\pi}{t}$ einzusetzen. Dies ergiebt $P = \frac{Q}{g} \cdot \frac{4r^2 \cdot \pi^2}{t^2 r}$ oder einfacher: $P = \frac{Q}{g} \cdot \frac{4r\pi^2}{t^2}$.

Die Centripetalkraft eines gleichförmig im Kreise bewegten Körpers ist also der Masse und dem Halbmesser direkt, dem Quadrate der Umlaufszeit umgekehrt proportional.

Beispiel: Eine Kugel von 0,5 kg werde an einer 0,8 m langen Schnur geschleudert, jeder Umlauf dauere ½ Sek; dann ist $P = \frac{0,5}{10} \cdot \frac{4 \cdot 0,8 \cdot 3,14^2}{0,5^2} = 6,31$ kg.

Wie grofs würde die Centrifugalkraft sein, wenn a. die Kugel das doppelte Gewicht hätte, b. die Schnur doppelt so lang, c. die Umdrehungszeit halb so grofs wäre?

Die grofsartigsten Centralbewegungen sind die Bewegungen der Himmelskörper. Von besonderer Wichtigkeit für uns sind die Bewegungen der Planeten um die Sonne als ihren Centralkörper und die Bewegungen der Monde um die Planeten als ihre Centralkörper. Bis zum 16. Jahrhundert war man der Meinung, dafs die Erde im Weltraume stillstehe und Sonne und Gestirne sich um sie bewegten. Erst Kopernikus (geb. 1473 in Thorn, gest. 1543) wies nach, dafs die Erde und die übrigen Planeten sich um die Sonne bewegen. Während Kopernikus aber die Bahnen der Planeten noch für Kreise hielt, wurde von Kepler die wirkliche Gestalt der Planetenbahnen entdeckt. Auf Grund langjähriger Beobachtungen und mühsamer Berechnungen stellte er (1610) über die Planetenbewegung folgende Gesetze auf:

1. *Die Bahnen, in welchen die Planeten sich um die Sonne bewegen, sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht.*

Die Gestalt der Planetenbahnen weicht von der Kreisform so wenig ab, dafs sie in vielen Fällen als kreisförmig betrachtet werden kann.

2. *Die Leitstrahlen der Planeten beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume.*

Beweis. (Fig. 249). $\triangle ama_1 = \triangle a_1md$, weil beide gleiche Grundlinie ($aa_1 = a_1d$) und gleiche Höhe haben.
$\triangle a_1md = \triangle a_1ma_2$ aus demselben Grunde ($a_1m = a_1m$ und $da_2 \parallel a_1m$); folglich
$\triangle ama_1 = \triangle a_1ma_2$. Ebenso folgt, dafs $\triangle a_1ma_2 = \triangle a_2ma_3$ ist u. s. w.

Wegen der Inhaltsgleichheit der Flächenräume müssen die Bahnstrecken aa_1, a_1a_2, a_2a_3 um so gröfser sein, je geringer ihr Abstand von m ist. Die Bahngeschwindigkeit eines Planeten ist daher am gröfsten in der Sonnennähe, am kleinsten in der Sonnenferne. — Das 2. Keplersche Gesetz (der sogen. Flächensatz) hat für jede Art der Centralbewegung Giltigkeit und läfst sich auch umkehren.

3. *Die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten verhalten sich wie die Kubikzahlen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.*

Beweis. Nach dem Gravitationsgesetze (§ 56) ist $P : P_1 = \frac{1}{r^2} : \frac{1}{r_1^2}$; ferner ist $P : P_1 = \frac{r}{t_2} : \frac{r_1}{t_1^2}$. Hieraus folgt $\frac{1}{r_2} : \frac{1}{r_1^2} = \frac{r}{t_2} : \frac{r_1}{t_1^2}$ oder, wenn man die Vorderglieder mit $r^2 \cdot t^2$ und die Hinterglieder mit $r_1^2 \cdot t_1^2$ multipliziert, $t^2 : t_1^2 = r^3 : r_1^3$.

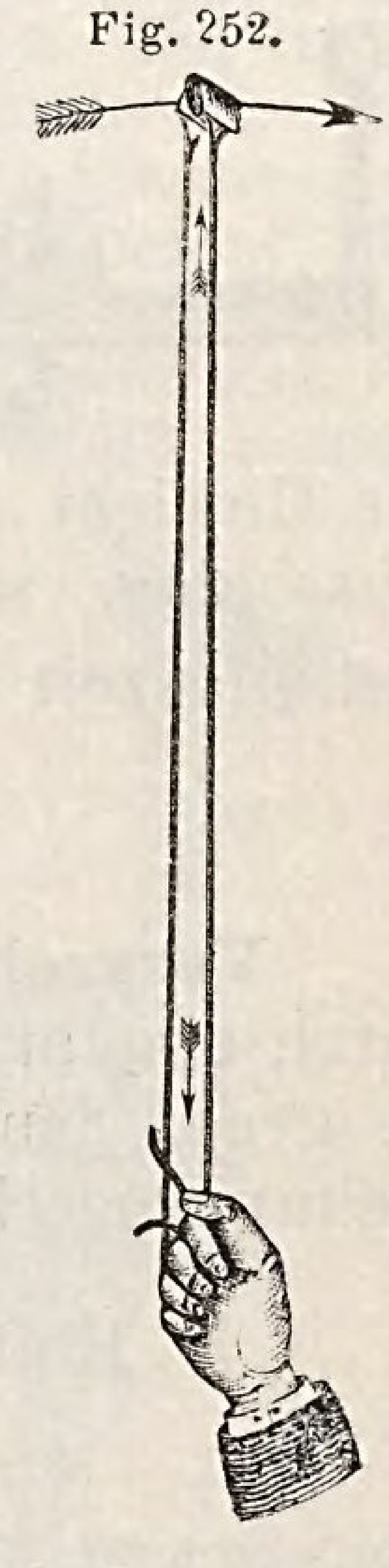
Newton gelang es (1682), die Bewegungen der Planeten auf die Wirkung der allgemeinen Massenanziehung oder Gravitation zurückzuführen und damit auch ihre scheinbaren Unregelmäfsigkeiten zu erklären.

Übungsstoff. 1. Schnell umlaufende Schleifsteine und Wagenräder zeigen sehr häufig Erschn., aus denen hervorgeht, dafs die sich bewegenden Teile das Be-

streben haben, in tangentialer Richtung ihre Bewegung fortzusetzen, welche? — **2.** In welchem Augenblicke mufs man die Schnur einer Schleuder (Fig. 252) los lassen, um das Ziel zu treffen? — **3.** Wie ist es zu erreichen, dafs ein schwingendes Fadenpendel seine Schwingungsebene verläfst und eine andere Bahn beschreibt? — **4.** Wie hat man zu verfahren, wenn die Bahn des Pendels eine Ellipse mit sehr kurzer kleiner Achse werden soll? — **5.** Wie ferner, wenn die Länge der letzteren bei wiederholten Versuchen sich mehr und mehr der Länge der grofsen Achse nähern soll? — **6.** Welchen Erfolg hat eine weitere Zunahme der ablenkenden Kr.? — **7.** Für welche der beiden hierbei möglichen Bahnformen ist ein bestimmtes Verhältnis zwischen den zusammenwirkenden Kräften erforderlich? — **8.** Welche Form wird bei derartigen Versuchen daher am meisten vorkommen? — **9.** Anwendung auf die Bahnen der Planeten und anderer Himmelskörper! (Im Weltraume kommen auch nicht geschlossene Bahnen vor.) — **10.** Newton prüfte sein aus den Planetenbewegungen abgeleitetes Gravitationsgesetz zuerst an der Bewegung des Mondes, indem er die Anziehungskraft der Erde als die auf den Mond wirkende Centripetalkraft ansah. Nach jenem Gesetze mufs der Fallraum der 1. Sek. in der mittleren Entfernung des Mondes (= 60 Erdhalbmesser) den 3600. Teil vom Fallraum der 1. Sek. (4,9 : 3600 = 0,00136) betragen, w.? Dieser Fallraum ist in Fig. 249 und 251 durch ac dargestellt, wenn m die Erde, aa_1 (Fig. 249) oder ad (Fig. 251) den in 1 Sek. zurückgelegten Teil der Mondbahn bedeutet. Nach Fig. 251 läfst sich dieselbe Strecke ac auch aus ad und dem Durchmesser ae der nahezu kreisförmigen Mondbahn berechnen, indem man die Proportion anwendet: ac : ad = ad : ae, denn sieht man ad als geradlinig an, so bilden adc und ade rechtwinklige Dreiecke. Der mittlere Halbmesser am der Mondbahn = 384 436 000 m. Die in 1 Sek. zurückgelegte Strecke ad läfst sich aus der ganzen Bahnlänge und der Umlaufszeit (= 2 360 000 Sek.) berechnen. Führt man die Rechnung aus, so ergiebt sich ac = 0,00136 m, welche Zahl mit dem vorher angegebenen Fallraum übereinstimmt.

§ 76. Versuche über die Centrifugalkraft (Schwungkraft). Die einfachste aller Centralbewegungen ist diejenige, bei welcher eine kreisförmige Bahn mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchlaufen wird. Ein sehr bekanntes Beispiel einer solchen ist die Bewegung, welche ein Stein ausführt, wenn man ihn in einer Schleuder (Fig. 252) rasch im Kreise schwingt. Hierbei stellt der von der Hand ausgeübte Zug die Centripetalkraft dar. Indem der Stein den Kreisweg zurücklegt, fühlt man in der Hand einen nach aufsen gerichteten Zug, welcher um so mehr zunimmt, 1) je schneller man schleudert, 2) je gröfser das Gewicht des Steines ist und 3) je länger bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit die Schnur ist. Dünne Fäden zerreifsen dabei leicht, elastische Schnüre oder schraubenförmig gewundene Drähte strecken sich. Der Stein übt demnach während seiner Bewegung eine Rückwirkung auf die Hand aus, ähnlich wie etwa eine elastische Feder einen Gegendruck oder Zug gegen die Hand ausübt, welche die Feder spannt (Gesetz der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung, § 59).

Fig. 252.



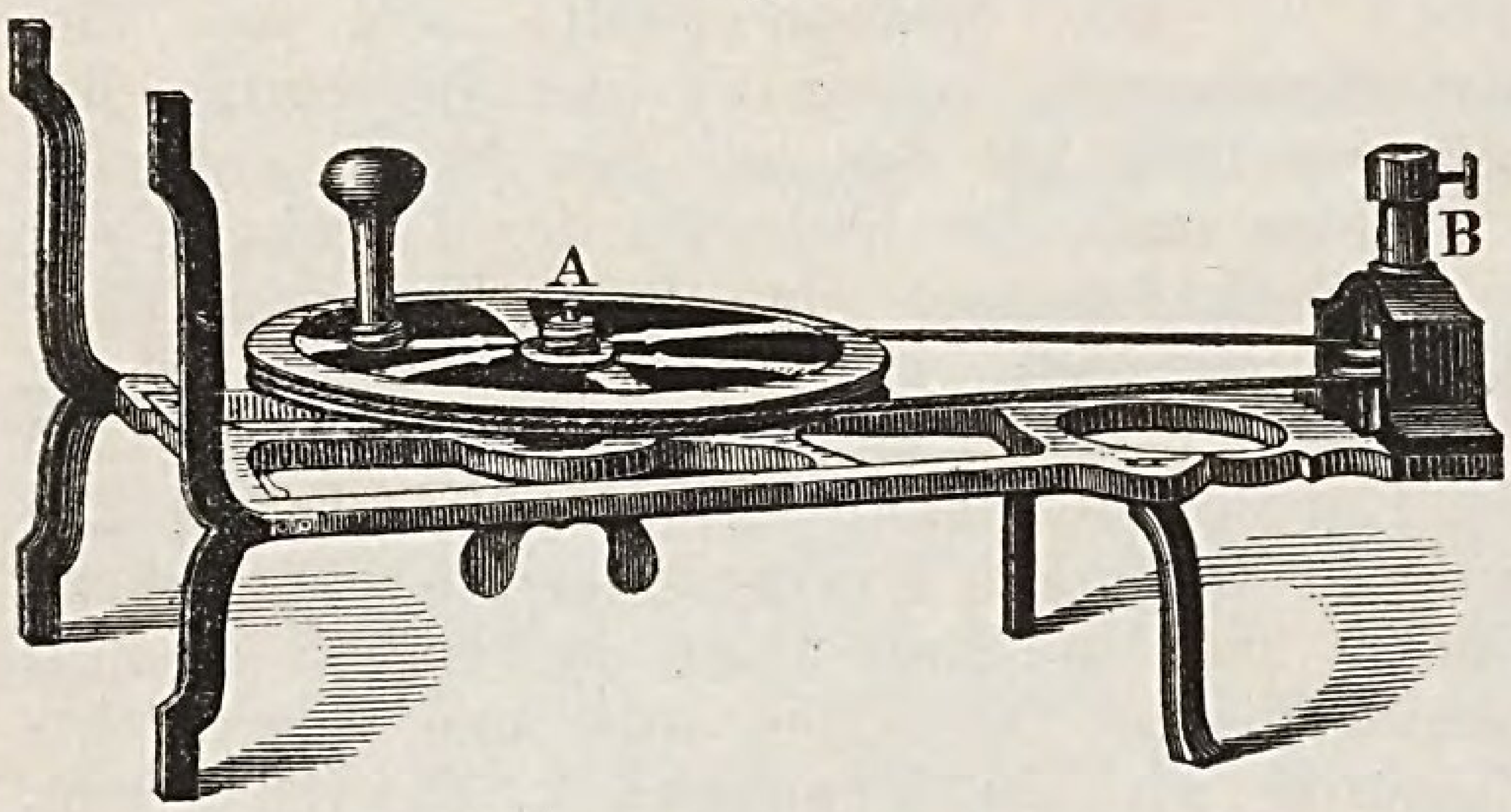
Die Gegenwirkung, welche ein Körper bei einer Kriesbewegung ausübt, wird als **Centrifugalkraft**[1]) *oder* **Schwungkraft** *bezeichnet. Sie ist der Centripetalkraft an Gröfse gleich.*

1) fugĕre, fliehen.

Bem. Die Centrifugalkraft ist nichts anderes, als der Widerstand, welchen das Beharrungsvermögen eines im Kreise bewegten Körpers der Centripetalkraft entgegensetzt; denn indem der Körper gezwungen wird, sich im Kreise zu bewegen, statt in der Richtung der Tangente fortzugehen, wozu ihn die Beharrung antreibt, wirkt er der nach dem Centrum hinziehenden Kraft entgegen. Diese Wirkung ist also lediglich eine Folge des Beharrungsvermögens; die Annahme einer besonderen Kraft, welche den Körper in der Richtung des Radius nach aufsen treibt, ist nicht zulässig.

Durch Versuche mit dem **Centrifugalapparate** (der Schwungmaschine) läfst sich die Abhängigkeit der Centrifugalkraft von der Masse, der Bahnweite und der Umlaufszeit eines kreisförmig bewegten Körpers ermitteln und somit das im vorigen Paragraphen entwickelte Gesetz bestätigen. Die Schwungmaschine (Fig. 253) besteht aus einem gusseisernen *Gestell,* auf welchem eine kleine *Triebrolle* (B) durch ein *Schwungrad* (A) in sehr schnelle Umdrehung versetzt werden kann.

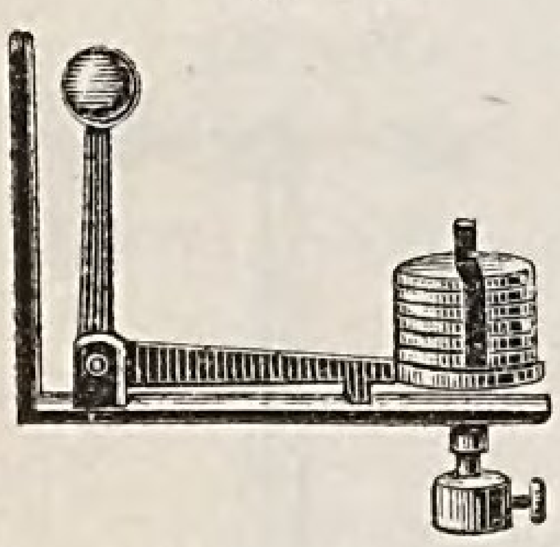
Fig. 253.



1. Einflufs der Umdrehungszeit.

Versuch a. Als Hülfsapparat läfst sich ein sehr leicht drehbarer Winkelhebel (Fig. 254) anwenden, dessen senkrechter Arm in eine Metallkugel und dessen wagerechter Arm in einen Metallring endigt, auf welchen zum Zwecke der Belastung durchbohrte Metallscheiben gelegt werden können. Die zunächst aufgelegte Metallscheibe habe ein solches Gewicht, dafs die Kugel gegen den Rahmen schlägt, wenn man das Schwungrad einmal in einer Sekunde umdreht. Belastet man dann den Ring so stark, dafs das Gewicht 4- oder 9mal so grofs ist als vorhin, so erfolgt ein Ausschlag, wenn man 2- oder 3mal so schnell dreht, sodafs die Umdrehungszeit also nur noch $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{3}$ Sekunde beträgt.

Fig. 254.

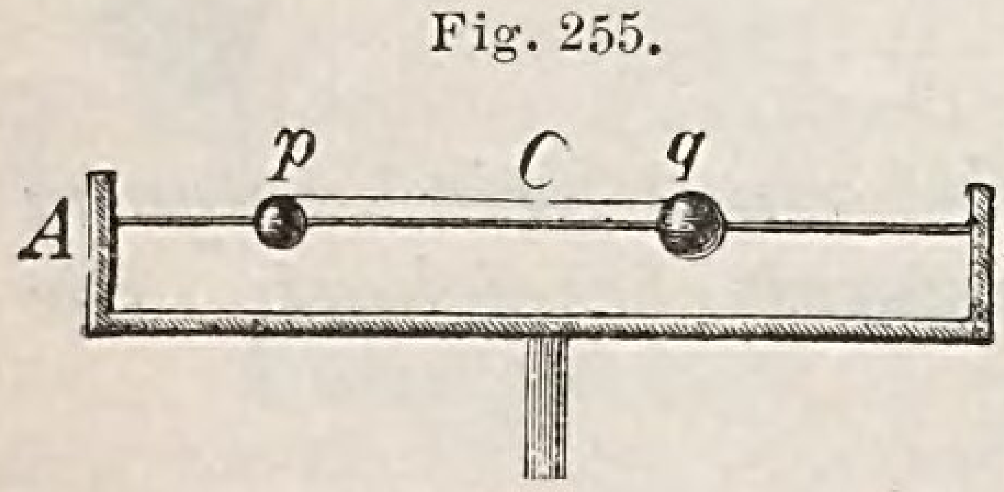


2. Einflufs der Masse.

Versuch b. Wird die Kugel des aufrechten Hebelarmes (Fig. 254) durch eine andere von 2- oder 3fachem Gewichte ersetzt, so schlägt sie gegen den Rahmen, wenn der wagerechte Hebelarm bei derselben Umdrehungsgeschwindigkeit 2- oder 3mal so stark als vorhin belastet ist.

3. Einflufs der Gröfse des Umdrehungshalbmessers.

Fig. 255.



Versuch c. Läfst man auf dem Centrifugalapparate einen Rahmen (Fig. 256), welcher auf einem wagerecht ausgespannten Drahte 2 leicht verschiebbare Kugeln enthält, immer schneller umlaufen, so ändern

letztere ihre Lage nicht, wenn ihre Abstände von der Drehungsachse sich umgekehrt verhalten, wie ihre Gewichte, also wenn $p = \frac{1}{2} q, \frac{1}{3} q, \frac{1}{4} q \ldots$, und 2-, 3-, 4mal so weit von der Drehungsachse entfernt ist als q.

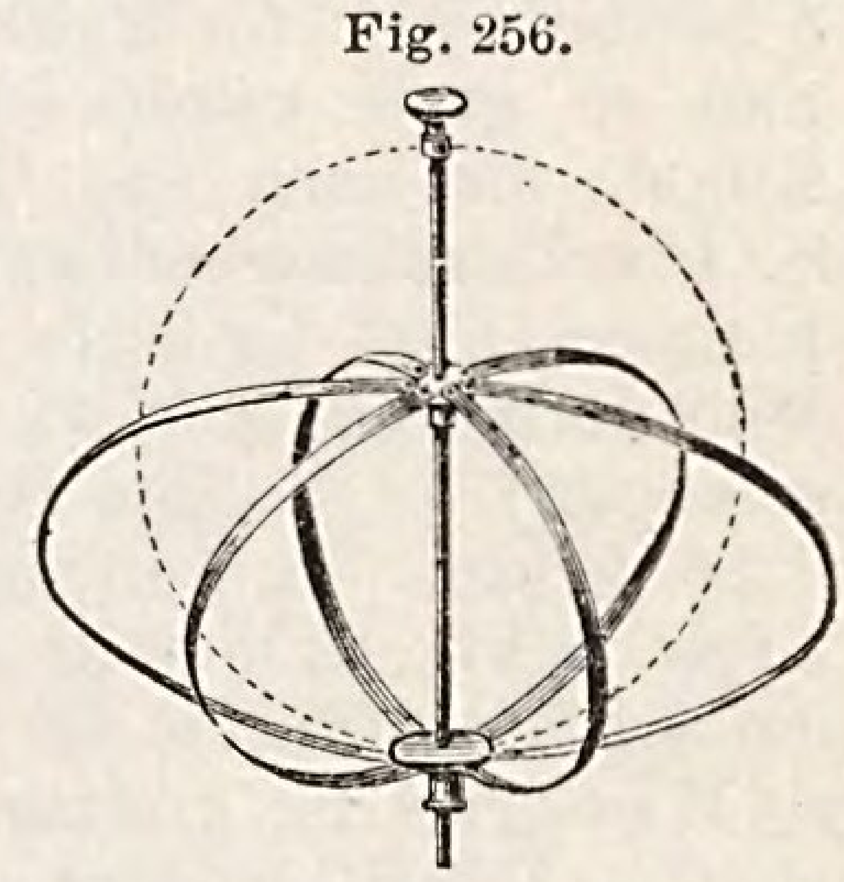
Bei einer **kreisförmigen Centralbewegung** wächst die Centrifugalkraft oder Schwungkraft unter sonst gleichen Umständen 1) umgekehrt wie das Quadrat der Umdrehungszeit, 2) ebenso wie die Masse des bewegten Körpers, und 3) wie der Halbmesser der Bahn.

In Zeichen: 1) $P : P_1 = t_1^2 : t^2$, 2) $P : P_1 = M : M_1$, 3) $P : P_1 = R : R_1$.

Anwendung der Gesetze der kreisförmigen Centralbewegung.

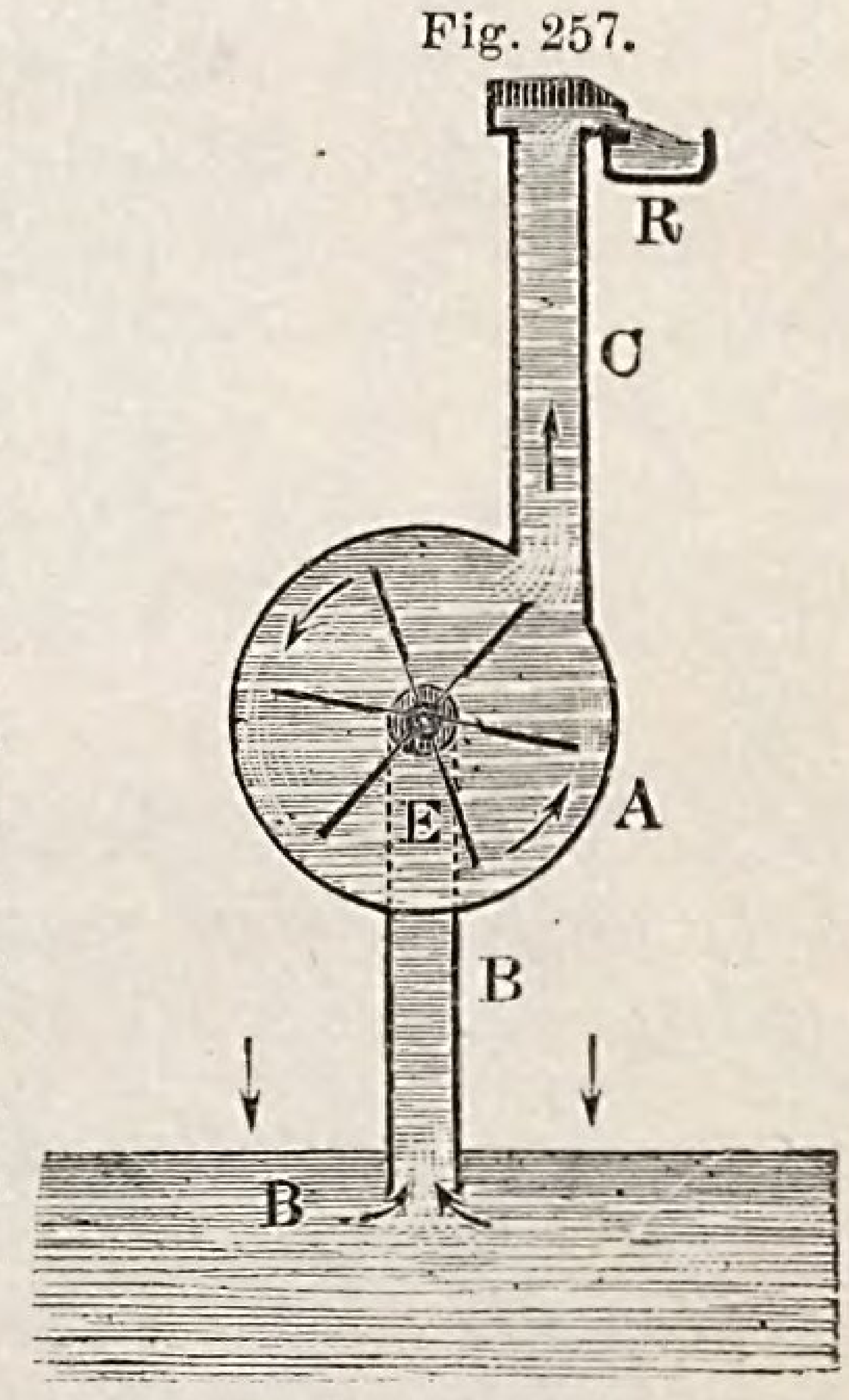
Abplattung der Erde und Abnahme der Schwerkraft durch die Achsendrehung. Wird ein Kugelgerippe (Fig. 256) oder ein Öltropfen (letzterer in einer Flüssigkeit von gleichem spec. Gewicht schwebend) immer schneller um seine Achse gedreht, so tritt eine immer stärkere Abplattung ein. (Erkl.!) Diese Wirkung der Centrifugalkraft macht es höchst wahrscheinlich, dafs auch die einst feurig flüssige Erde durch die Achsendrehung ihre abgeplattete Gestalt erhielt. (Die Abplattung beträgt ungefähr $\frac{1}{299}$ vom Durchmesser des Äquators, letzterer ist 42,64 km länger als die Erdachse.) — Die Achsendrehung der Erde bewirkt ferner eine Abschwächung der Schwerkraft und zwar mittelbar durch die Abplattung nach dem Newtonschen Gravitationsgesetze, unmittelbar durch die Centrifugalkraft, da infolge der Achsendrehung jeder Körper auf der Erdoberfläche ein um so gröfseres Bestreben hat, sich von der Erde zu entfernen, je gröfser sein Abstand von der Erdachse ist. Nur an den Polen kann daher die Schwerkraft voll zur Wirkung kommen, während ihre Abschwächung durch die Schwungkraft von den Polen nach dem Äquator hin zunimmt und am Äquator selbst am meisten beträgt. Hier wirkt die Schwungkraft der Schwerkraft gerade entgegen, sodafs letztere um den vollen Betrag der Schwungkraft ($\frac{1}{289}$ der Erdanziehung) geringer ist, als sie sonst sein würde. Drehte sich die Erde 17mal so schnell, also in 1 Stunde 25 Min. einmal um ihre Achse ($17^2 = 289$), so würde die Schwerkraft durch die Schwungkraft vollständig aufgehoben werden. Zwischen Pol und Äquator bilden die Richtungen dieser beiden Kräfte einen Winkel miteinander, von dessen Gröfse jene abschwächende Wirkung der Schwungkraft abhängig ist.

Fig. 256.



Im praktischen Leben findet die Schwungkraft vielfache Anwendung. Fig. 257 stellt eine zum schnellen Heben von Wasser dienende **Centrifugalpumpe** dar, welche dadurch wirkt, dafs in einem kapselförmigen eisernen Gehäuse ein kleines Schaufelrad (gewöhnlich durch eine Dampfmaschine) in sehr schnelle Umdrehung versetzt wird, sodafs die Luft aus dem seitlich einmündenden Saugrohre entweicht. Letzteres hat zur Folge, dafs das Wasser in das Gehäuse eindringt und von den Schaufeln im Steigrohre hinaufgeworfen wird, aus welchem es oben ausfliefst. Ähnliche Vorrichtungen dienen zur Erzeugung eines kräftigen Luftstromes **(Ventilatoren)**.

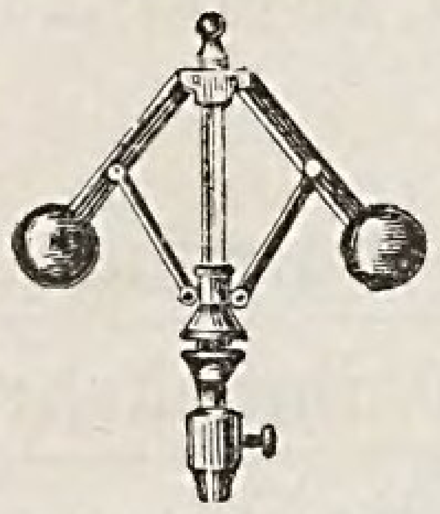
Fig. 257.



Bei Dampfmaschinen regelt man mittelst des **Centrifugal-Regulators** (Fig. 258, folg. Seite) den Zutritt des Dampfes zum Cylinder. — Bei der Zucker-

fabrikation wird die aus Rüben gewonnene Zuckermasse (Melasse) durch die Schwungkraft von den nicht krystallisierten, flüssigen Bestandteilen in weiten metallenen Trommeln *(Centrifugen)*, deren Wand fein durchlöchert ist, gereinigt (1000—1500 Umdrehungen in der Minute). — In ähnlicher Weise dient die Schwungkraft zum Ausschleudern des Honigs aus den Bienenwaben, zur Gewinnung der Butter aus der Milch, des Stärkemehls aus dem Gereibsel der Kartoffeln u. s. w.

Fig. 258.

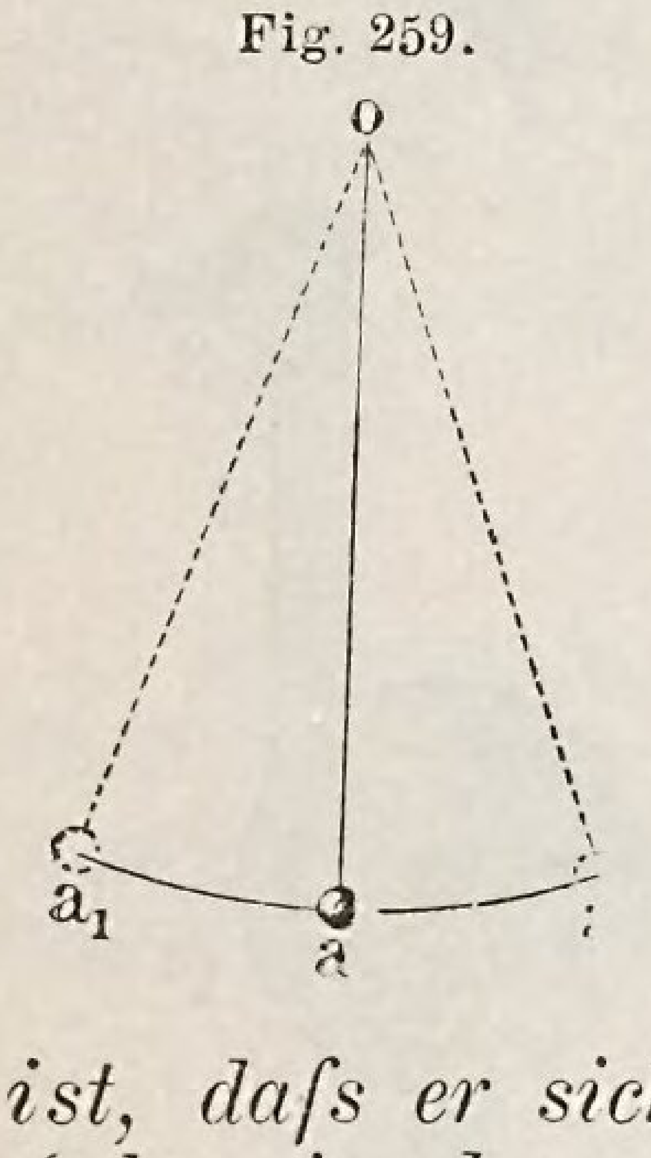


Übungsstoff. 1. Ein kugelförmiges, mit W. und Qu. gefülltes Gefäfs werde mittelst der Schwungmaschine schnell wie ein Kreisel gedreht. Wie werden sich dann die Flgkn. im Gefäfse ordnen? (sogen. Quecksilbergürtel.) — 2. Warum liegen bei Eisenbahnkurven die äufseren Schienen höher als die inneren? — 3. Kunstreiter können sich auf einem galoppierenden Pferde an der nach dem Mittelpunkte der Bahn gerichteten Seite desselben ohne festen Sitz hängend erhalten. Erkl.! — 4. Bei den (in Spielwarenhandlungen käuflichen) sogen. Centrifugalbahnen rollt ein kleiner Wagen auf einer geneigten Bahn herab und durchläuft sodann mit den Rädern nach oben eine kreisförmige Schlinge. Erkläre dies! — 5. Eine Kugel werde an einer a. 40, b. 60, c. 80 cm langen Schnur im Kreise geschleudert. Verhältnis der Schwungkräfte? — 6. Einflufs a. des 2- oder 3fachen Gew. der Kugel, b. einer 2- oder 3mal so grofsen Geschw.? — 7. Wievielmal so grofs würde die Schwungkraft werden, wenn man sowohl das Gew. der Kugel, als auch die Geschw. in der vorhin angegebenen Weise vergröfserte? — 8. Die Durchmesser zweier Centrifugen verhalten sich wie 4 : 5; während aber die kleinere 1500 Umläufe in 1 Min. macht, führt die gröfsere nur 1200 Umläufe aus. Wie verhalten sich die Schwungkräfte, welche gleiche Massen in den Centrifugen erlangen? — 9. Der Halbmesser des Erdäquators ist 6377,4 km, die halbe Erdachse 6356,08 km. In welchem Verhältnis ist hiernach die Erde abgeplattet? — 10. Der Kreis in Fig. 251 stelle den Äquator der Erde dar, ad die Strecke, welche ein Punkt des Äquators durch die Achsendrehung der Erde in 1 Sek. zurücklegt (ad = 464 m). a. Wie grofs ist hiernach ac? (ac : ad = ad : ae, vgl. Frage 10, § 75). b. Welchen Bruchteil beträgt diese Strecke vom Fallraume der 1. Sek. am Äquator (4,89 m)? Denselben Bruchteil von der Erdschwere mufs die Schwungkraft am Äquator betragen; um den gleichen Bruchteil mufs demnach auch das Gew. der K. am Äquator geringer erscheinen, als wenn die Erde stillstände.

§ 77. Die Pendelbewegung.

Die Pendelbewegung entsteht, wenn ein an einem Faden oder dünnen Drahte (Fig. 259) frei aufgehängter Körper (Bleilot) aus seiner Gleichgewichtslage gebracht und dann sich selbst überlassen wird. Eine aufmerksame Beobachtung lehrt, dafs diese Bewegung um so schneller erfolgt, je kürzer der Aufhängefaden ist, und dafs die Geschwindigkeit der Bewegung mit der Annäherung an die Gleichgewichtslage zunimmt und mit der Entfernung von derselben wieder abnimmt.

Fig. 259.



Jeder Körper, welcher in einem nicht mit seinem Schwerpunkte zusammenfallenden Punkte so aufgehängt ist, dafs er sich um diesen Punkt frei bewegen kann, wird **Pendel** *(physisches Pendel) genannt.*

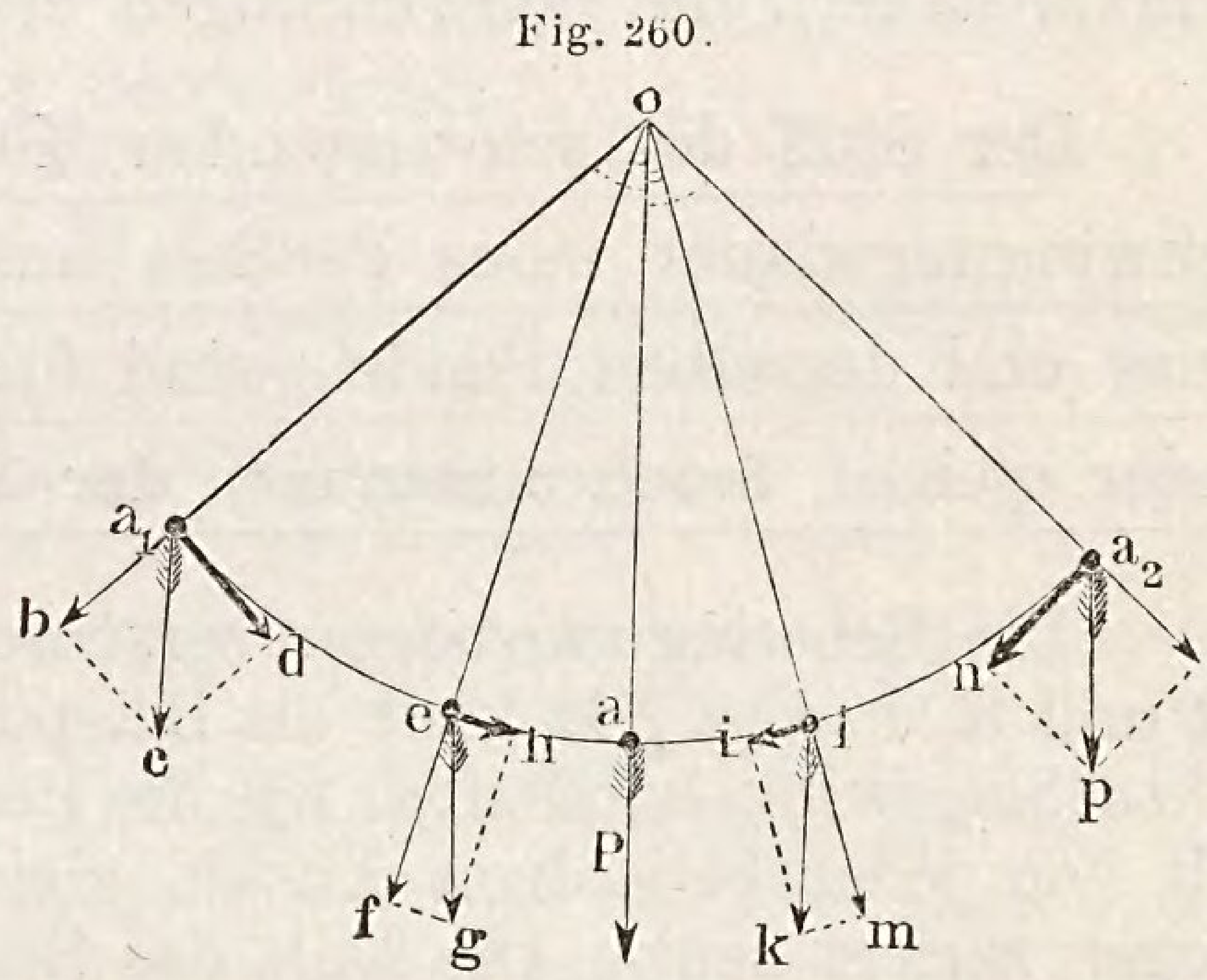
Eine einzelne Bewegung aus der äufsersten Lage der einen Seite in die entgegengesetzte (von a_1 nach a_2 oder umgekehrt) *heifst* **Schwingung,** *die dazu erforderliche Zeit* **Schwingungsdauer.** — *Der Winkel, um welchen das Pendel aus seiner senkrechten Lage sich entfernt, wird als* **Ausschlagswinkel** *bezeichnet* ($\sphericalangle\, a_1 o a$ und $a o a_2$).

Vom physischen (zusammengesetzten) Pendel unterscheidet man das *mathematische* (*einfache*) *Pendel*. Bei letzterem, welches in Wirklichkeit nicht vorhanden ist und sich nur annähernd durch eine an einem dünnen Faden hängende Metallkugel darstellen läfst, hat man sich den Pendelfaden gewichtslos und das Gewicht des aufgehängten Körpers in einem Punkte vereinigt zu denken.

1. Einfaches (mathematisches) Pendel (Gesetze der Pendelbewegung).

Denkt man sich den Schwingungsbogen eines Pendels (a_1a_2, Fig. 260) aus zahlreichen kleinen geraden Linien zusammengesetzt, so läfst sich die Pendelbewegung als ein abwechselndes Fallen und Steigen eines Körpers auf schiefen Ebenen betrachten, deren Neigungswinkel gleich den Ausschlagswinkeln des Pendels sind, wie sich leicht ergiebt, wenn man die durch a_1 gezogene Tangente bis zum Schnitt mit der Verlängerung von oa verlängert und durch diesen Punkt eine Horizontale legt. Zerlegt man nun die auf den pendelnden Körper einwirkende Schwerkraft für irgend eine schräge Lage des Pendels, z. B. für a_1, durch das Parallelogramm der Kräfte in zwei Seitenkräfte, von denen die eine (a_1b) mit dem Pendelfaden, die andere (a_1d) mit der betreffenden schiefen Ebene gleich gerichtet ist, so giebt erstere die Spannung des Fadens, letztere die Richtung und Gröfse der Kraft an, mit welcher der Körper an diesem Punkte in seine Gleichgewichtslage zurückzufallen strebt. Je näher das Pendel seiner Gleichgewichtslage kommt, um so gröfser ist die Seitenkraft, welche den Faden spannt, um so kleiner dagegen die bewegende Kraft. In der Gleichgewichtslage selbst ist letztere gleich Null. Wie sich nun die bewegenden Kräfte zu einander verhalten, ebenso müssen sich auch die Beschleunigungen verhalten. Bis zur Gleichgewichtslage nimmt daher die Geschwindigkeit stetig, aber um immer weniger zu. Von da ab setzt das Pendel seine Bewegung nur noch zufolge der Trägheit weiter fort. Da die Schwerkraft während des Steigens in demselben Verhältnis hemmend auf die Bewegung einwirkt, wie sie vorher beschleunigend wirkte, so mufs die Geschwindigkeit auch ebenso abnehmen, wie sie vorher zunahm.†) Hieraus folgt:

Fig. 260.



Die Pendelbewegung ist während des Fallens ungleichmäfsig *beschleunigt*, während des Steigens ungleichmäfsig *verzögert*.

Da die Beschleunigung der Schwere für alle frei fallenden Körper dieselbe ist, so müssen auch alle Körper, gleichviel aus welchem Stoffe sie bestehen, auf derselben schiefen Ebene ohne Bewegungshindernisse

†) Trigonometrisch: Die Seitenkräfte sind P . sin w und P . cos w, wenn w den Ausschlagswinkel bezeichnet; die Beschleunigung = g . sin w.

gleichschnell fallen, folglich an gleichlangen Pendeln bei gleichen Ausschlägen auch gleichschnell schwingen. Obwohl nun die bewegenden Kräfte (nach Fig. 260) mit der Gröfse der Ausschläge zunehmen, so können doch die Schwingungszeiten nicht für alle Ausschlagswinkel einander genau gleich sein. Denn denkt man sich des besseren Vergleiches wegen z. B. die beiden Dreiecke efg und a_1bc so verschoben, dafs eg und a_1c von o aus auf oa fallen, und stellt man sich vor, um o sei mit eg ($= a_1c$) ein Kreisbogen geschlagen, so ist ersichtlich, dafs das Wachstum der Kraft bei vergröfsertem Ausschlagswinkel hinter dem Wachstum des Schwingungsbogens zurückbleibt. †) Bei gröfseren Ausschlagswinkeln müssen demnach die Pendelausschläge etwas länger dauern als bei kleinen Winkeln. Bestätigung:

Versuch a. Läfst man mehrere kleine Kugeln, welche aus verschiedenen Stoffen (Metall, Holz, Glas) bestehen, an möglichst dünnen und 1 m langen Fäden nebeneinander schwingen, so dauert jede Schwingung bei kleinen Ausschlägen nahezu 1 Sek. Bei gröfserem Ausschlagswinkel dauern die Schwingungen etwas länger.

Der Stoff des schwingenden Körpers übt keinen Einflufs auf die Schwingungsdauer eines Pendels aus. — Die Schwingungszeiten eines und desselben Pendels sind für sehr kleine Ausschlagswinkel einander gleich: **Isochronismus [1]) der Pendelschwingungen.**

Die Schwingungsbogen verschiedener Pendel von ungleicher Länge (R und R_1 in Fig. 264 kann als Beispiel dienen) verhalten sich bei gleichen Ausschlagswinkeln offenbar wie die Pendellängen ($ea : db = R : R_1$); dasselbe gilt von jeder beliebigen Anzahl gleicher Teile, in welche man sich die Bogen zerlegt denkt. Die Teile des Bogens ea bilden sodann mit der Horizontalen dieselben Winkel, wie die gleichliegenden Teile des Bogens db, mithin wirken auf diesen einander entsprechenden Teilen auch gleich grofse beschleunigende Kräfte auf das Pendel ein. Da sich nun die Fallzeiten wie die Quadratwurzeln der Fallräume verhalten (§ 73), so müssen sich auch die Zeiten, in denen einander entsprechende Bogenteilchen durchlaufen werden, ebenso verhalten wie die Quadratwurzeln aus den Teilchen selbst oder, nach dem Vorhergehenden, wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen. Durch den Versuch bestätigt man dies, indem man die Schwingungszeiten verschieden langer Pendel vergleicht.

Versuch b. Läfst man mehrere Pendel schwingen, deren Längen sich wie 1 : 4 : 9 u. s. w. verhalten, so verhalten sich ihre Schwingungszeiten wie 1 : 2 : 3 u. s. w.

1) *ἴσος* (isos), gleich und *χρόνος* (chronos), Zeit.

†) Trigonometrisch: Die beschleunigenden Kräfte wachsen wie die Sinus der Ausschlagswinkel, also langsamer als die Schwingungsbogen; nur bei sehr kleinen Ausschlägen (etwa bei 5⁰) verhalten sie sich demnach ebenso wie die Schwingungsbogen, also auch wie die Aussschlagswinkel selbst.

Bei Pendeln von verschiedener Länge verhalten sich die Schwingungszeiten (t und t_1) wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen (l und l_1).

In Zeichen: $t : t_1 = \sqrt{l} : \sqrt{l_1}$.

Die Schwingungsdauer eines Pendels von bestimmter Länge nimmt, genauen Beobachtungen zufolge, vom Äquator nach den Polen hin etwas ab. Die Länge des Sekundenpendels, welches in der Sek. eine Schwingung (einen Hingang oder Hergang) ausführt, ist für die Äquatorgegend annähernd 991 mm, unter 45° geogr. Breite 993,5 mm, für Berlin 994,3 mm; sie beträgt an den Polen ungefähr 5 mm mehr als am Äquator. Genaue Beobachtungen der Pendelschwingungen in verschiedener geographischer Breite, auf hohen Bergen und in tiefen Bergwerken haben zu dem Gesetze geführt:

Die Schwingungszeiten eines Pendels, welches an verschiedenen Orten der Erde schwingt, stehen im umgekehrten Verhältnis zur Quadratwurzel aus der Beschleunigung der Schwerkraft.

In Zeichen: $t : t_1 = \sqrt{g_1} : \sqrt{g}$.

Bedeutet n und n_1 die Anzahl der Schwingungen, welche dasselbe Pendel an verschiedenen Orten in gleichen Zeiten ausführt, so ist demnach:

$$n : n_1 = \sqrt{g} : \sqrt{g_1} \quad \text{oder}$$
$$g : g_1 = n^2 : n_1^2 \quad \text{(in Worten?)}$$

Galilei, der durch die Beobachtung der Schwingungen einer herabhängenden Lampe im Dom zu Pisa auf die Untersuchung der Pendelbewegung geführt worden sein soll, hat die Pendelgesetze zuerst ausgesprochen (1602). Huyghens (spr. Heuchens) setzte Galileis Untersuchungen fort, bestimmte die Länge des Sekundenpendels und machte eine sehr wichtige Anwendung vom Pendel zur Regulierung des Ganges der Räderuhren (1657). Auch berechnete er aus den Pendelschwingungen die Schwerkraft der Erde. Dafs ein und dasselbe Pendel nicht an allen Orten der Erde gleichschnell schwingt, wurde zuerst von dem französischen Astronomen Richer (1672) beobachtet, der eine Reise nach Cayenne (5° n. Br.) unternommen hatte, um diese und noch andere wissenschaftliche Fragen zu untersuchen. Er fand, dafs das Pariser Sekundenpendel in Cayenne sich langsamer bewegte und um $1\frac{1}{4}$ Linie verkürzt werden mufste, damit es wieder Sekunden schlage. Damit war ein sicherer Beweis für die Abnahme der Schwerkraft nach dem Äquator hin geliefert. Die wichtigsten Pendelbeobachtungen dieser Art verdankt man Sabine (spr. Säbbin), der von Bahia bis Spitzbergen (13° s. bis 80° n. Br.) genaue Versuche ausgeführt hat.

2. Zusammengesetztes (physisches) Pendel.

Beim wirklichen Pendel stellen genau genommen alle mit dem Aufhängepunkte fest verbundenen Massenteilchen des Pendels mathematische oder einfache Pendel dar, von denen jedes unabhängig vom anderen um so schneller schwingen würde, je näher es dem Aufhängepunkte liegt. Man kann daher jedes physische Pendel als aus zahlreichen einfachen Pendeln bestehend betrachten und aus diesem Grunde als zusammengesetztes Pendel bezeichnen.

Die Schwingungen der dem Aufhängepunkt näher gelegenen Teilchen werden durch die entfernteren verzögert, die Schwingungen der ent-

fernteren dagegen durch die näheren beschleunigt. Demnach mufs es in jedem physischen Pendel einen Punkt geben, dessen Schwingungen durch die übrige Masse des Pendels nicht beeinflufst werden, der also wie ein einfaches Pendel schwingt.

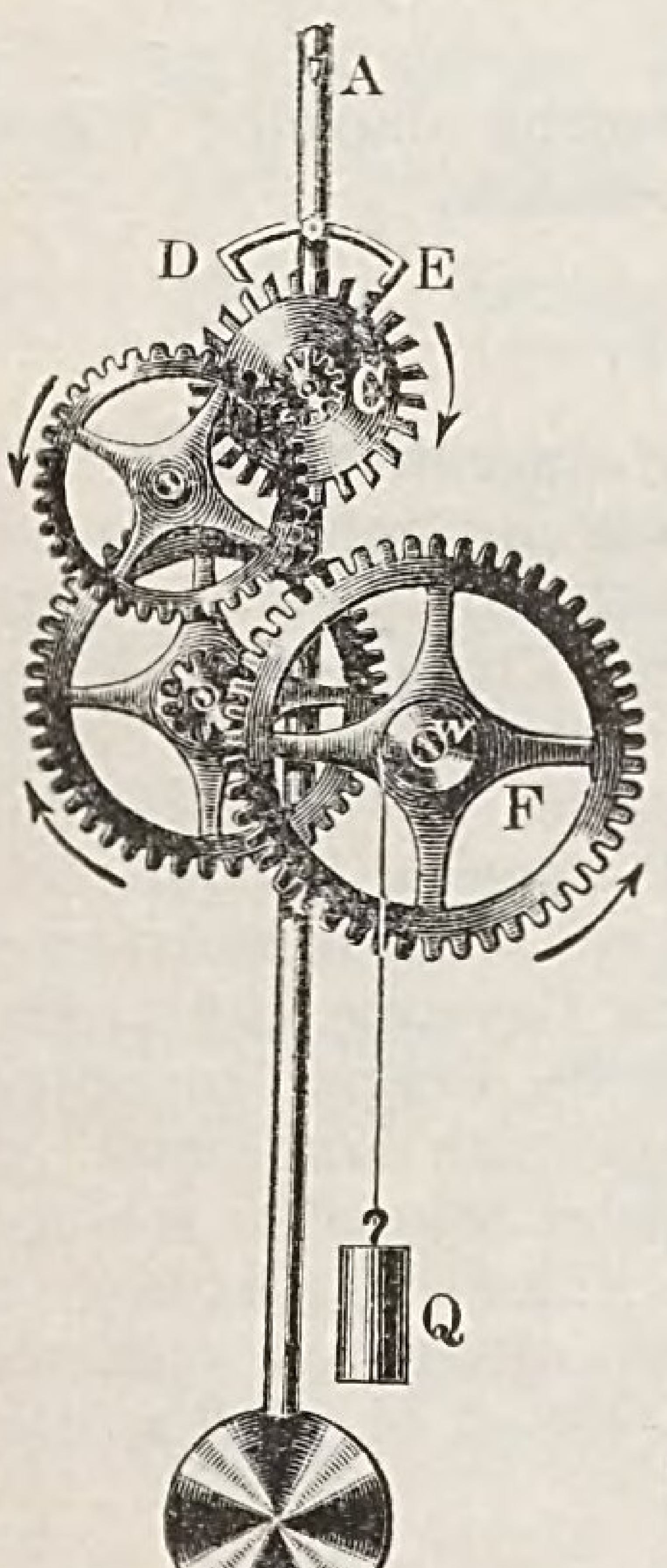
Derjenige Punkt eines zusammengesetzten Pendels, welcher wie ein einfaches (mathematisches) Pendel schwingt, wird **Schwingungspunkt des Pendels** *genannt. Er liegt etwas tiefer als dessen Schwerpunkt.*

Man erhält den Schwingungspunkt eines zusammengesetzten Pendels dadurch, dafs man die Länge eines ebenso schnell schwingenden einfachen Pendels auf dem zusammengesetzten vom Aufhängepunkte aus abträgt (reducierte Länge des physischen Pendels). Aufhängepunkt und Schwingungspunkt lassen sich bei einem solchen Pendel vertauschen, ohne dafs sich die Schwingungszeit ändert: **Umdrehungs-** oder **Reversionspendel.** Mittelst des Reversionspendels läfst sich die genaue Länge des Sekundenpendels für einen bestimmten Ort praktisch finden, woraus dann die Beschleunigung der Schwere für den Ort berechnet werden kann.†)

Anwendungen des Pendels.

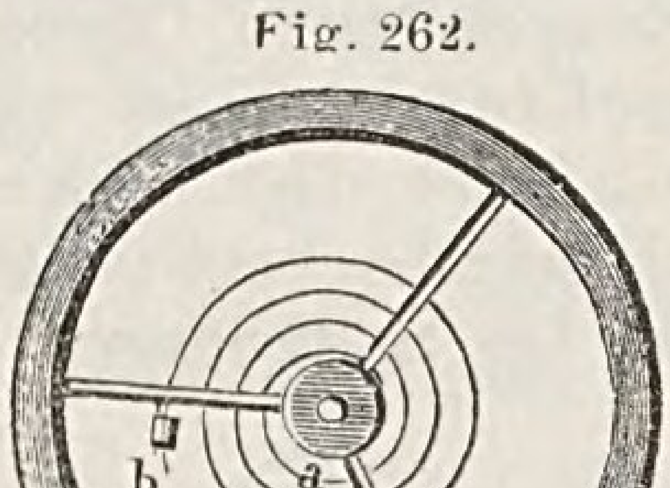
Die allgemeinste und nützlichste Anwendung findet das zusammengesetzte Pendel zur **Regulierung des Ganges der Räderuhren** (Fig. 261). Diese werden dadurch in Bewegung gesetzt, dafs ein Gewicht (Q) oder eine Feder am Umfange einer Welle (w) einen Zug ausübt. Damit das Räderwerk dadurch nicht in eine beschleunigte Umdrehung gerät, greifen in die Zahnlücken des obersten Rades, des sogen. Hemmungs- oder Steigrades (C), die beiden hakenförmigen Enden eines Ankers (DE) ein, welcher sich mit einem Pendel (AB) hin- und herbewegt und bei jedem Hin- und Hergange das Steigrad um einen Zahn vorrücken läfst (Ankerhemmung). Da nun die Pendelschwingungen von gleicher Dauer sind, so erfolgt der Umlauf des Räderwerkes gleichmäfsig. Das Pendel regelt somit die Bewegung und bildet also den *Regulator der Uhr.* Um den Einflufs, welchen die Wärme auf die Pendellänge ausübt, für den Gang der Uhr auszugleichen, wendet man Kompensationspendel an (§ 115).

Fig. 261.



Da Pendel nur an gröfseren feststehenden Uhren angebracht werden können, so hat man für Taschenuhren besondere Regulatoren (Unruhen) erfunden. Diese bestehen aus sehr kleinen Schwungrädern. Die Achse eines solchen Rades ist mit einem cylindrischen oder ankerförmigen Hemmapparate versehen, welcher ähnlich wie bei einer Pendeluhr auf die Bewegung eines Steigrades einwirkt und das Ticken der Uhr hervorruft. Das gesamte Räderwerk wird durch kleine Spiralfedern in Bewegung gesetzt (Fig. 262).

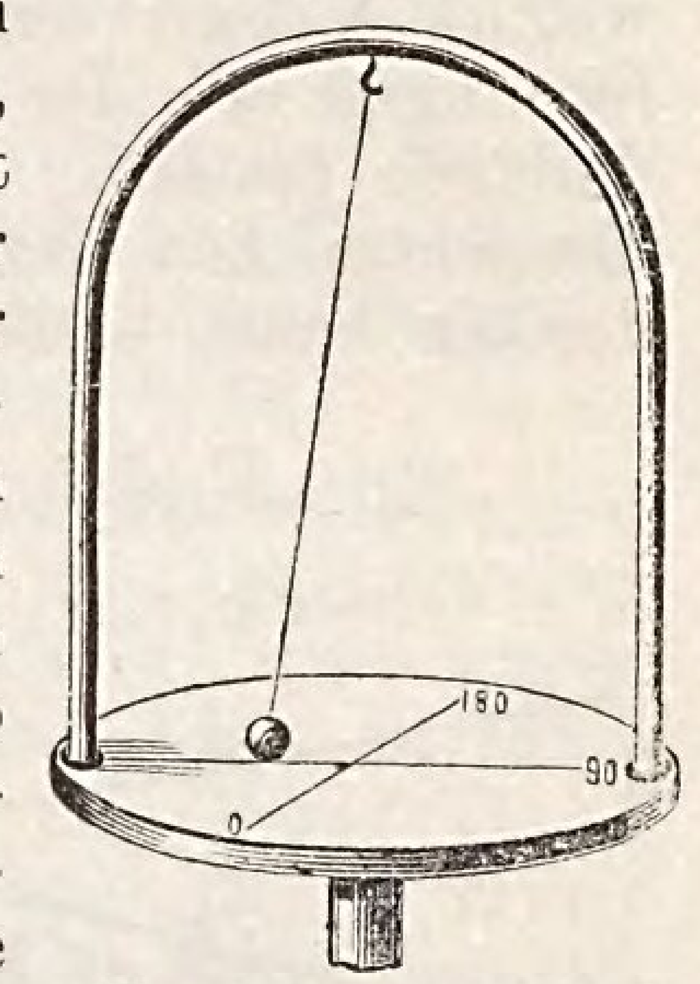
Fig. 262.



†) Für die Schwingungsdauer eines Pendels (einfache Schwingung) gilt bei sehr kleinen Ausschlagswinkeln die Gleichung $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Hieraus folgt: $g = \frac{\pi^2 . l}{t^2}$ und wenn man für t die Zahl 1 (1 Sek.) setzt: $g = \pi^2 . l$, wonach sich die Beschleunigung der Schwere für diejenigen Orte der Erde berechnen läfst, für welche die Länge des Sekundenpendels durch den Versuch ermittelt worden ist. Ein hinreichend genaues Resultat erhält man auch, indem man die Schwingungen zählt, welche ein Pendel von gemessener Länge in einer bestimmten Zeit, z. B. in der Minute, ausführt und dann die Formel $g = \frac{\pi^2 . l}{t^2}$ anwendet.

Durch Foucault in Paris (1851) ist die Pendelbewegung zu einem Beweise für die **Achsendrehung der Erde** benutzt worden. Läfst man nämlich ein sehr langes Pendel mit ziemlich schwerem Pendelkörper etwa in der Richtung des Meridians schwingen, so ist nach einiger Zeit eine auffällige und um so gröfsere Änderung in der Lage der Schwingungsebene zu den Gegenständen der Umgebung erkennbar, je weiter der Beobachtungsort vom Äquator entfernt liegt. Da nun beim Schwingen eines Pendels die Schwingungsebene infolge der Trägheit der schwingenden Masse ihre Richtung nicht ändert, wenn der Aufhängepunkt des Pendels eine Drehung erleidet (Drehung der Scheibe, Fig. 263), so mufs jene scheinbare Drehung der Schwingungsebene durch eine wirkliche Drehung der Erde hervorgerufen werden. — Denkt man sich etwa über dem Nordpole der Erde ein Pendel aufgehängt, so würde die geradlinige Verlängerung des ruhenden Pendels mit der Erdachse zusammenfallen. Ein seitlich vom Pendel in der Schwingungsebene stehender Beobachter würde demnach mit der (durch die drehbare Scheibe, Fig. 263, veranschaulichten) Erdoberfläche innerhalb 24 Stunden von W. nach O. einen vollen Kreis beschreiben; dagegen dreht sich scheinbar in derselben Zeit die Schwingungsebene des Pendels von O. nach W. um 360°. Wendete der Beobachter dem Pendel den Rücken zu, so würde die Schwingungsebene für ihn nach *rechts* abgelenkt erscheinen, am Südpole nach *links*. Ein am Äquator aufgehängtes Pendel bildet in seiner Ruhelage mit der Erdachse einen rechten Winkel. Die in der Schwingungsebene gelegenen Punkte der Erdoberfläche müssen also ihre Lage gegen diese Ebene unverändert beibehalten. Für alle Orte, welche zwischen Pol und Äquator liegen, kann man sich die Sache so vorstellen, ab ob eine um so geringere Drehung um eine senkrechte Achse erfolgte, je weiter der Ort vom Pole entfernt liegt.

Fig. 263.



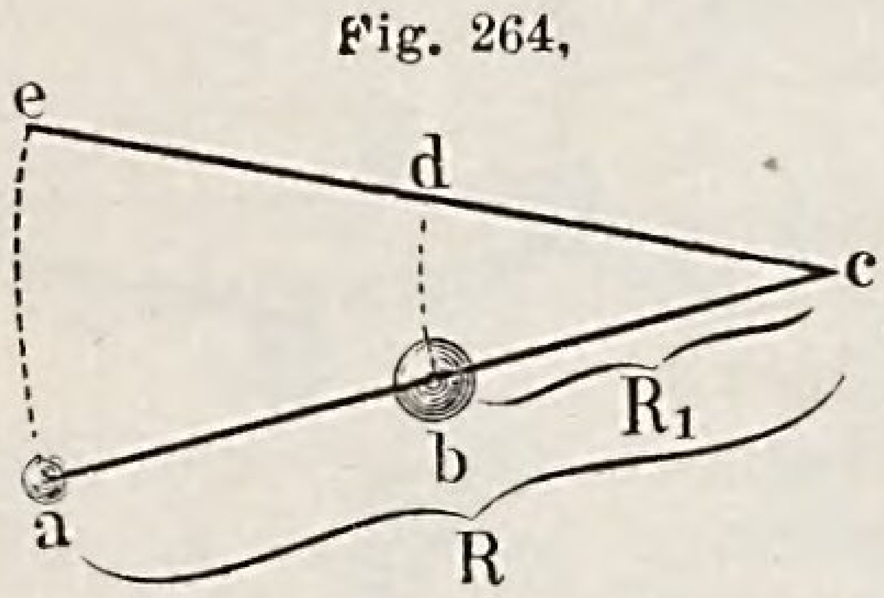
Übungsstoff. 1. Warum kann die Schwingungsweite eines Uhrpendels nicht immer genau dieselbe sein? — 2. Warum werden demnach Uhren, welche sehr genau gehen sollen, so eingerichtet, dafs das Pendel möglichst kleine Ausschläge macht? — 3. Wie läfst sich der Gang einer Pendeluhr durch das Pendel a. verlangsamen, b. beschleunigen? — 4. Wird es einen Einflufs auf den Gang einer in unserer Gegend richtig gehenden Pendeluhr ausüben, wenn die Uhr an einem weiter nach N., S., O. oder W. gelegenen Orte aufgehängt wird; inwiefern? — 5. Welchen Einflufs hat die Aufstellung einer Pendeluhr auf einem sehr hohen Berge oder in einem sehr tiefen Schachte auf den Gang derselben? (§ 56.) — 6. Einflufs der Wärme auf den Gang gewöhnlicher Pendeluhren? — 7. Welche auf die Pendelbewegung bezügliche Thatsache ist eine Bestätigung des Gesetzes, dafs alle K. gleichschwer sind? — 8. Bei welcher Länge des einfachen Pendels ist die Schwingungsdauer a. $\frac{1}{2}$, b. 2 Sek. (annähernd)? — 9. Verhältnis der Schwingungszeiten zweier Pendel, von denen das eine 2,5, das andere 1,6 m lang ist? — 10. Wie verhalten sich die Pendellängen a. zu den Schwingungszeiten, b. zu den Schwingungszahlen? — 11. Von zwei Pendeln mache das eine 100, das andere 120 Schwingungen in 1 Min. Wie verhalten sich ihre Längen? — 12. Warum mufs zum Foucaultschen Pendelversuche ein sehr langes Pendel mit ziemlich schwerem Pendelkörper benutzt werden? (Foucault benutzte ein Pendel von 28 kg Gew., welches an einem Draht von 67 m Länge hing.)

§ 78. Trägheitsmoment. Bei unseren früheren Betrachtungen über die Bewegungen der Körper konnten wir uns in allen denjenigen Fällen, in denen eine blofse Verschiebung der Masse, d. h. eine solche Bewegung stattfand, bei welcher alle Massenteilchen des Körpers mit gleicher Geschwindigkeit parallele Strecken zurücklegen, die ganze Masse des bewegten Körpers in seinem Schwerpunkte vereinigt denken und diesen Punkt als Angriffspunkt der Kräfte ansehen. Die

Lehre von der Pendelbewegung hat nun bereits gezeigt, dafs sich dies auf einen Körper, welcher sich um eine feste Achse dreht, aus dem Grunde nicht anwenden läfst, weil die lineare Geschwindigkeit der Teile des Körpers in verschiedenen Abständen von der Drehungsachse verschieden, die Winkelgeschwindigkeit aber für alle Teile gleich ist. Eine andere Bewegung, für welche dasselbe gilt, ist die Drehung von Schwungrädern.

Der Einfachheit wegen soll in folgendem nur die Frage erörtert werden, welche Massen einander bei der Drehung um eine feste Achse in beliebigen Entfernungen von der Achse ersetzen können, ohne dafs die Winkelgeschwindigkeit sich dadurch ändert. Die Bestimmung des Punktes, in welchem man sich sämtliche Massenteilchen eines sich drehenden Körpers ohne Änderung der Bewegung vereinigt denken kann, bleibt demnach unberücksichtigt.

Fig. 264.



Im Endpunkte a (Fig. 264) des gewichtslos gedachten Stabes ac sei eine Masse M angebracht; diese werde durch Drehung des Stabes von a nach e bewegt. Die Kraft wirke dabei in der Drehungsebene rechtwinklig zum Stabe und zwar so auf den Körper, dafs dieser dadurch eine bestimmte lineare Geschwindigkeit erlange. Würde dann die Masse M von a nach der Mitte b des Stabes verlegt und der Stab abermals um denselben Winkel gedreht, so brauchte die Kraft, wenn sie zunächst wieder wie vorhin unmittelbar auf den Körper einwirkte, bei gleicher Geschwindigkeit des Stabes nur halb so grofs zu sein, denn die lineare Geschwindigkeit, welche der Körper in derselben Zeit erlangt, ist auch nur halb so grofs als vorher ($b\,d = \frac{1}{2}\,a\,e$). Ganz dieselbe Wirkung kann von a aus nach dem Hebelgesetze schon durch $\frac{1}{4}$ der Kraft hervorgebracht werden. Denken wir uns nun nicht die Kraft, sondern die Masse veränderlich, so folgt, dafs die ganze Kraft von a aus einer 4 mal so grofsen, in b befindlichen Masse die gleiche Winkelgeschwindigkeit zu erteilen vermag. Wäre $bd = \frac{1}{3}ae$ oder $\frac{1}{4}$ ae, so könnte die Masse aus denselben Gründen 9- oder 16 mal so grofs sein, ohne dafs die Winkelgeschwindigkeit sich änderte. Umgekehrt würde die Masse, wenn sie um die 2-, 3-, 4 . . . fache Länge des Drehungsradius der Kraft von der Drehungsachse entfernt wäre, nur $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$. . . so grofs als im einfachen Abstande sein dürfen, wenn an der Winkelgeschwindigkeit nichts geändert werden sollte. Hieraus folgt:

Die Massen, welche sich bei der Drehung um eine feste Achse ersetzen können, ohne dafs ihre Winkelgeschwindigkeit sich ändert, verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer Abstände vom Drehpunkte.

In Zeichen: $M : M_1 = R_1^2 : R^2$, folglich $MR^2 = M_1 R_1^2$; in Worten?

Die Produkte aus den Massen in die Quadrate ihrer Entfernungen vom Drehpunkte werden die **Trägheitsmomente** *dieser Massen genannt.*

Auf der Veränderung des Trägheitsmomentes eines schwingenden Pendels beruht der Taktmesser (Metronom) zur Messung der Taktgeschwindigkeit von Musikstücken.

Besonders wichtig ist die Kenntnis des Trägheitsmomentes für die Beurteilung der Wirkung von **Schwungrädern.** Diese sind gewöhnlich so eingerichtet, dafs an ziemlich langen und verhältnismäfsig leichten Armen ein sehr schwerer Reifen (Schwungring) befestigt ist. Man kann sich daher die Masse eines Schwungrades ohne grofsen Fehler im Schwungringe vereinigt denken. Je gröfser somit bei gleichem Gewichte der Radius des Schwungrades ist, desto mehr Kraft ist dazu nötig, dem Schwungrade eine gewisse Geschwindigkeit zu erteilen, desto mehr Kraft ist aber auch erforderlich, diese Geschwindigkeit wieder aufzuheben. Denn wie sich die treibenden Kräfte zu einander verhalten müssen, um gleichen, aber in verschiedenen Entfernungen von der Drehungsachse befindlichen Massen dieselbe Winkelgeschwindigkeit zu erteilen, ebenso müssen sich auch bei unveränderten Angriffspunkten die hemmenden Kräfte zu einander verhalten, wenn die erlangte Geschwindigkeit in derselben Zeit wieder aufgehoben werden soll. Die Fähigkeit der Schwungräder, Bewegungswiderstände zu überwinden, ist demnach bei gleicher Winkelgeschwindigkeit ungefähr 4-, 9-, 16-... mal so grofs, wenn der Radius 2-, 3-, 4-... mal so lang, das Gewicht aber dasselbe ist.

Läfst sich bei der Drehung um eine Achse die Richtung der Achse während der Drehung ändern (z. B. bei einem Kreisel), so giebt sich die Trägheit der bewegten Masse noch in besonderer Weise zu erkennen, indem nämlich eine merkliche Kraft dazu gehört, die Achse während der Drehung aus ihrer Lage zu bringen. Alle Massenteilchen des Körpers haben das Bestreben, in ihrer Drehungsebene zu bleiben; demgemäfs sucht der rotierende Körper seine Drehungsachse unverändert beizubehalten und setzt jeder Kraft, welche die Achse aus ihrer Richtung zu bringen sucht, einen Widerstand entgegen. Ist die Achse des rotierenden Körpers eine sogen. freie Achse, d. h. eine solche, welche in ihrer Lage nicht festgehalten wird, so nimmt sie unter der Einwirkung einer Kraft allmählich eine Richtungsänderung an und beschreibt einen Kegelmantel (z. B. die Achse eines Kreisels oder des Bohnenbergerschen Apparates). Die Gesetze der freien Achsen finden Anwendung auf die Richtungsänderung der Erdachse im Weltraume und dienen zur Erklärung der Präzession (Vorrücken der Nachtgleichenpunkte).

Übungsstoff. 1. Wie mufs sich das Trägheitsmoment eines Wagebalkens durch die Belastung der Wage ändern? — 2. Wird demnach vor oder nach der Belastung durch ein Übergewicht leichter ein Ausschlag erfolgen, u. w.? — 3. Inwiefern stimmen Schwungräder hinsichtlich der Verteilung ihrer Masse meist überein, und welchen Vorteil gewährt diese Einrichtung? — 4. Ein Schwungrad von der beschriebenen Einrichtung wiege 2000, ein anderes 4000 kg; beide seien gleichgrofs. Wie verhalten sich die Wirkungen derselben bei gleicher Umdrehungsgeschw.? — 5. Wie aber, wenn beide gleiches Gew. hätten und das eine doppelt so grofs wäre als das andere? — 6. Die Gewichte zweier Schwungräder mit leichten Armen und schweren Reifen verhalten sich wie 2 : 3, ihre Halbmesser wie 3 : 2; wie verhalten sich ihre Wirkungen? — 7. Wie würden sie sich verhalten, wenn ihre Gew. sich wie 3 : 2 und ihre Halbmesser sich wie 2 : 3 verhielten? — 8. Inwiefern ist das Vorhandensein eines Schwungrades bei Beginn der Bewegung mit einem Verlust an Nutzarbeit verbunden? — 9. Warum ist dieser Verlust in Wirklichkeit nur ein scheinbarer? — 10. Warum fällt ein sich schnell drehender Kreisel nicht leicht um?

B. Von den flüssigen Körpern.

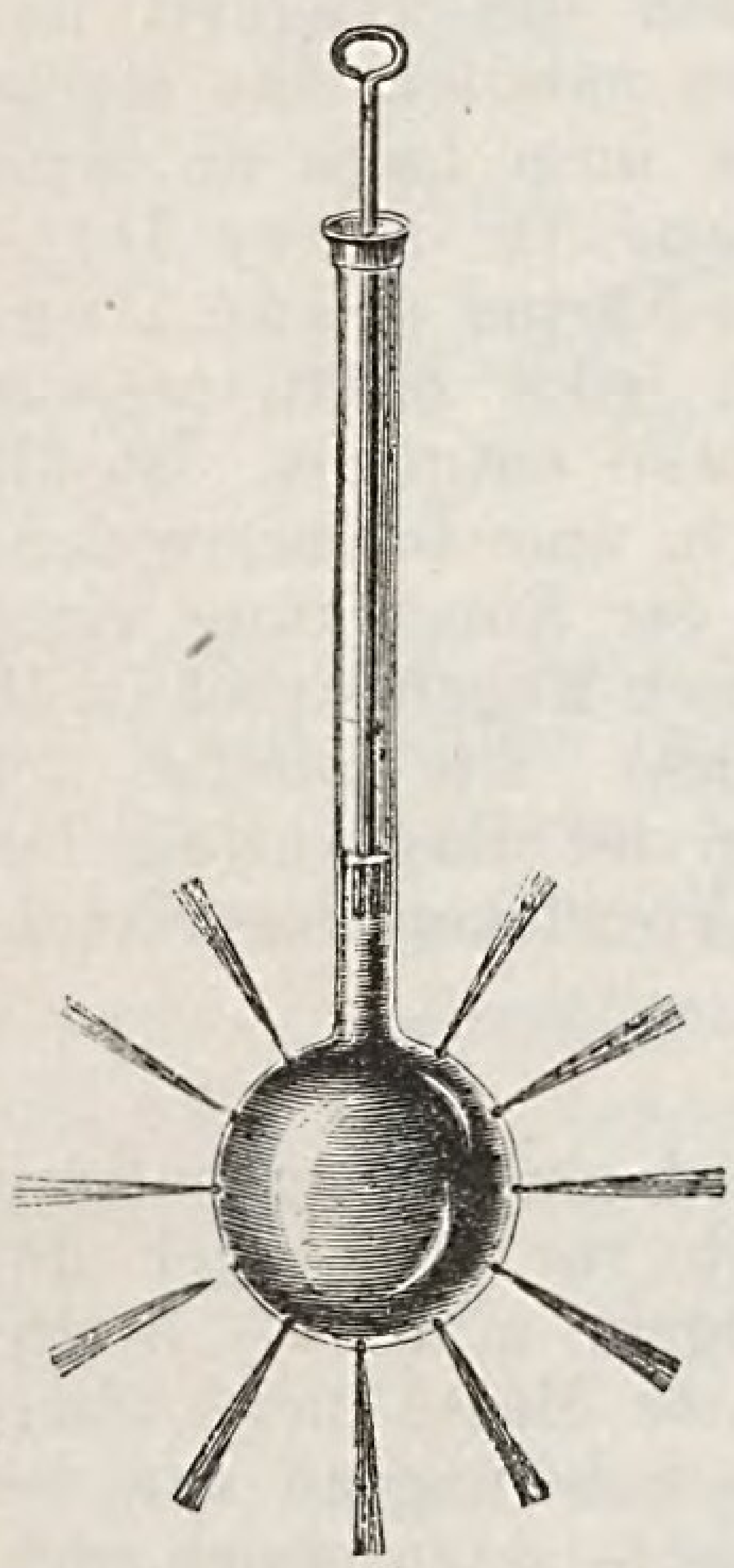
(Siehe §§ 15—17.)

§ 79. Gleichmäfsige Fortpflanzung eines äufseren Druckes. Hydraulische Presse. Meifsel, Stemmeisen und ähnliche Werkzeuge kann man mit der Hand halten, ohne den auf sie ausgeübten Schlag zu fühlen; dieser pflanzt sich nur in seiner

Richtung fort. Beständen die Handgriffe solcher Werkzeuge aus einem weichen, leicht dehnbaren Stoffe, so würde der Schlag fühlbar sein. Säcke, welche mit Mehl oder Sand gefüllt sind, dehnen sich in die Breite aus, wenn sie von oben einen starken Druck erleiden. Hieraus geht hervor, dafs ein äufserer Druck sich nach verschiedenen Richtungen fortpflanzen kann, wenn die Teilchen des gedrückten Körpers leicht verschiebbar sind. Dies mufs daher namentlich bei flüssigen und luftförmigen Körpern der Fall sein und zwar bei ersteren ohne merkliche Verkleinerung des von ihnen eingenommenen Raumes, da Flüssigkeiten sich auch durch starken Druck nur sehr wenig zusammenpressen lassen.

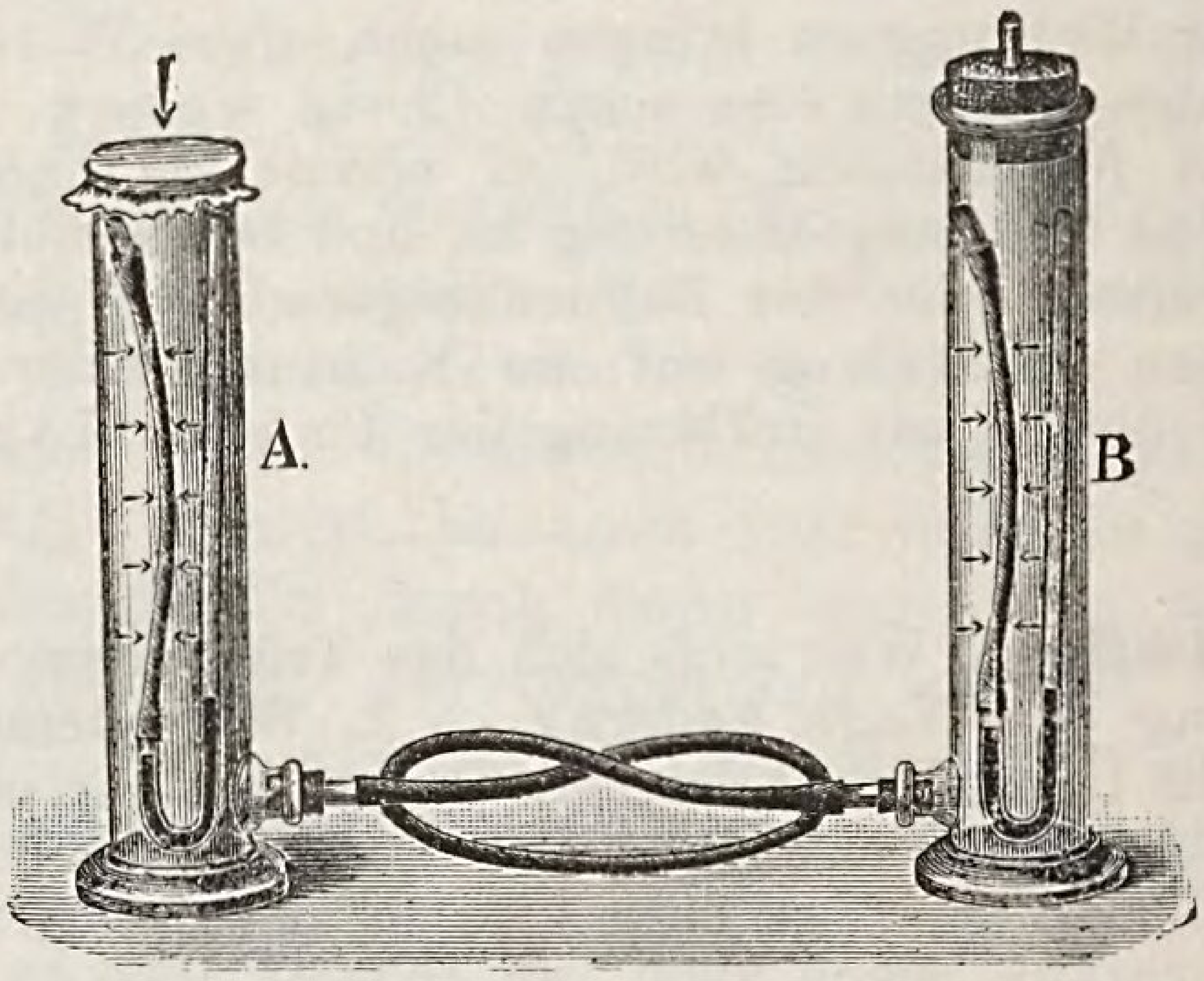
Versuch a. Wird in einem Glasgefäfs mit cylindrischem Ansatzrohre (Fig. 265) Wasser dem Drucke eines hineingeschobenen Kolbens ausgesetzt, so spritzt es nach allen Seiten durch die feinen Wandöffnungen. (Druck nach aufsen.)

Fig. 265.



*__Versuch b.__ Zwei ganz mit Wasser gefüllte Cylinder seien durch einen ziemlich langen, dickwandigen Gummischlauch zu kommunizierenden Gefäfsen miteinander verbunden (Fig. 266) und der eine derselben durch einen Stöpsel, der andere durch eine elastische Haut verschlossen; in jedem stehe ein U förmiges Manometer, auf dessen kurzem Schenkel ein am freien Ende verschlossener, dünnwandiger Gummischlauch befestigt ist. Übt man dann auf die elastische Haut einen Druck aus, so zeigen die beiden Manometer an, dafs der Druck sich durch das Wasser nach allen Richtungen fortpflanzt. (Druck nach innen.)

Fig. 266.



Da die Teilchen der Flüssigkeiten vollkommen leicht verschiebbar sind, d. h. nach allen Richtungen mit gleicher Leichtigkeit ausweichen, wenn der geringste äufsere Druck auf sie ausgeübt wird, so mufs folgendes Gesetz Giltigkeit haben, dessen Richtigkeit alle Erfahrungen bestätigen:

Eingeschlossene Flüssigkeiten pflanzen einen äufseren Druck nach allen Richtungen gleichmäfsig fort, d. h. jede Fläche, welche so grofs ist wie die gedrückte, erleidet einen gleichen Druck.

In Zeichen: $D : D_1 = F : F_1$,

wenn D und D_1 den ausgeübten Druck, F und F_1 die gedrückten Flächen bezeichnen.

Auf dieser gleichmäfsigen Fortpflanzung des Druckes beruht die Wirkung der **hydraulischen Pressen,**[1]) *d. h. der Vorrichtungen zur Ausübung eines bedeutenden Druckes unter Anwendung einer Flüssigkeit.* Eine sehr einfache Vorrichtung dieser Art zeigt Fig. 267. *Zwei Hohlcylinder* (A und B) von sehr ungleicher Weite, von denen der engere in einen Wasserbehälter hinabreicht, sind miteinander durch eine Röhre verbunden und mit Wasser gefüllt. Jeder Cylinder enthält einen verschiebbaren *Kolben.* Der engere Cylinder (A) bildet den Stiefel einer Saugdruckpumpe, welche das Wasser durch die Verbindungsröhre in den weiten Cylinder (B) treibt, sodafs der Kolben desselben gehoben wird — Fig. 268 stellt eine zum praktischen Gebrauch (für den Handbetrieb) eingerichtete hydraulische Presse dar. Erkläre die Figur!

Fig. 267.

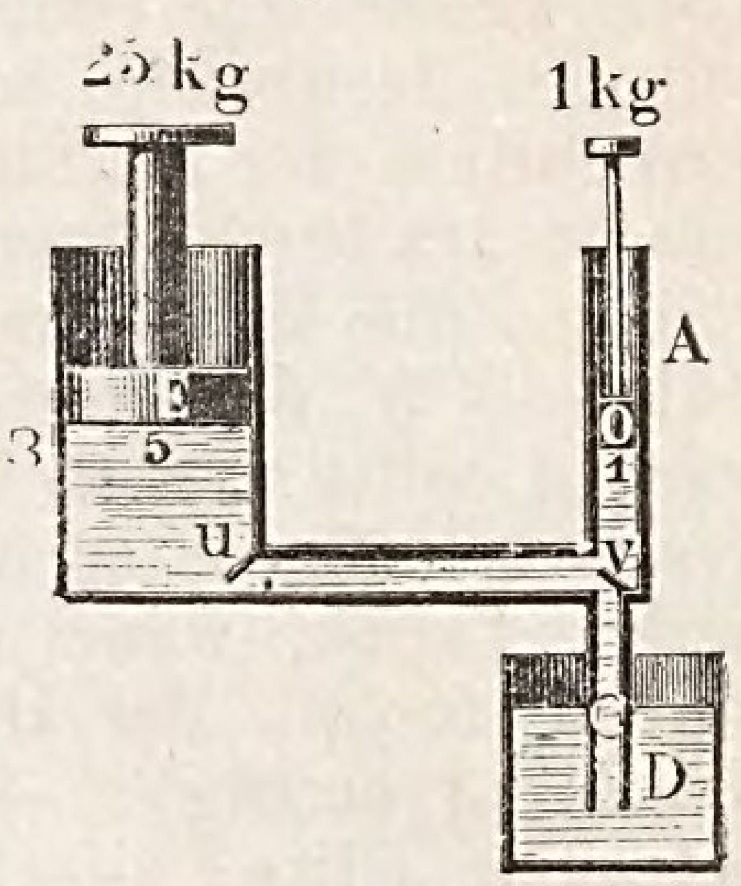
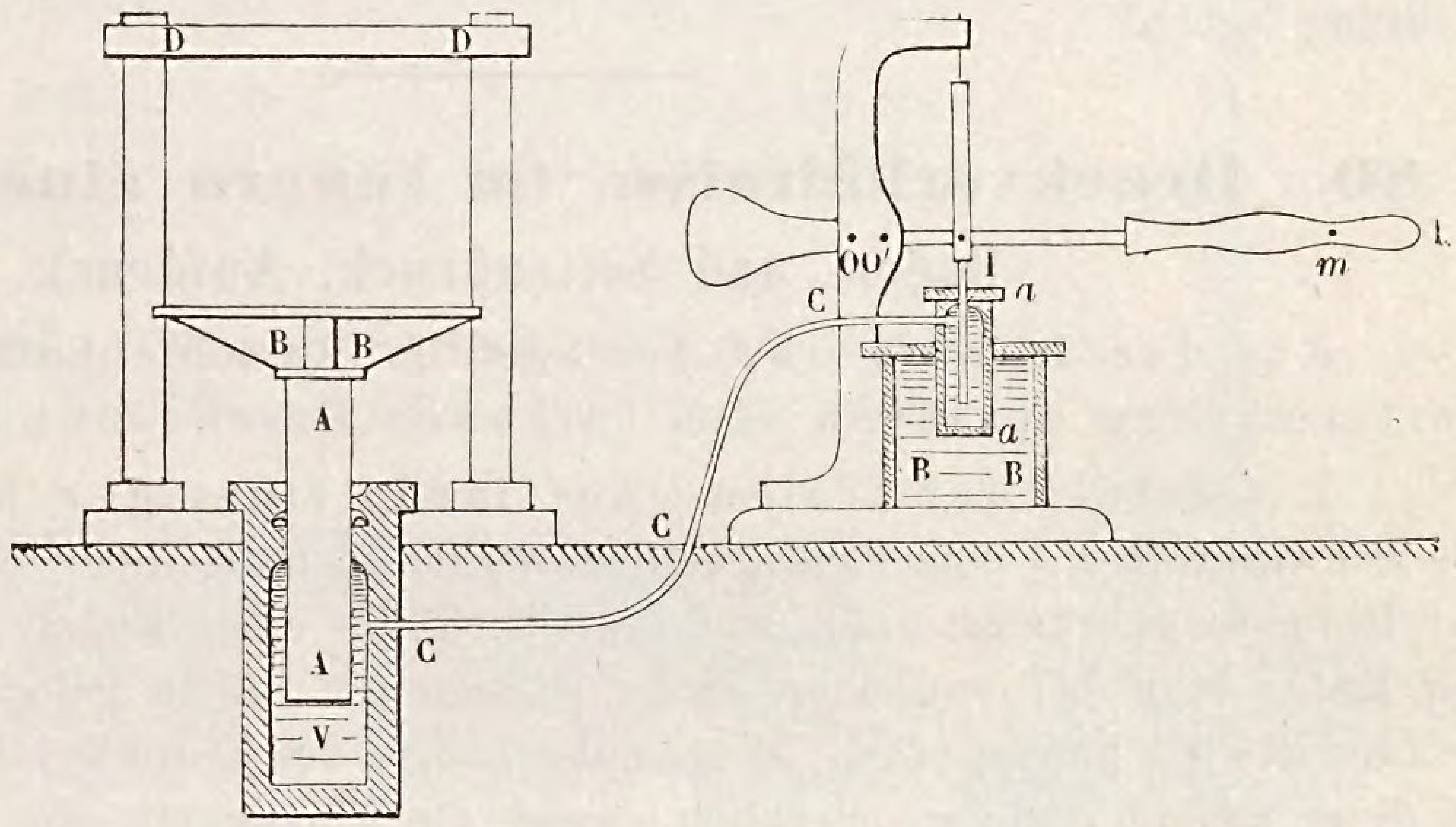


Fig. 268.



Beispiel: Ist in Fig. 268 der Kraftarm des Hebels 6mal so lang als der Lastarm und die Kraft gleich 20 kg, so ist der Druck des Pumpenkolbens $6 \times 20 = 120$ kg. Ist ferner der Durchmesser des Prefskolbens 10 mal so grofs als der des Pumpenkolbens, die gedrückte Fläche also 100 mal so grofs, so erleiden die zu pressenden Gegenstände einen Druck von $100 \times 120 = 12000$ kg, mithin einen Druck, welcher 600 mal so grofs ist, als der von der Kraft ausgeübte Druck.

Bei der hydraulischen Presse ist wie bei allen anderen Maschinen mit dem *mechanischen Vorteil ein mechanischer Nachteil* verbunden; denn wenn z. B. in dem angeführten Falle der Pumpenkolben um 10 cm niedergedrückt ist, so hat sich der Prefskolben erst um 1 mm gehoben, die am Hebel wirkende Kraft aber hat in der Richtung des von ihr ausgeübten Druckes schon einen Weg von 60 cm zurückgelegt. Der Weg der Kraft ist also 600 mal so grofs als der Weg der Last. (Arbeit der Kraft = Arbeit der Last, also keine Ersparnis an Arbeit.)

Hydraulische Pressen finden eine mannigfache Anwendung, z. B. zum Pressen von Baumwolle, Heu u. s. w., zum Krümmen der Schiffspanzer, zum Prüfen der Haltbarkeit von Wasserleitungsröhren, Ankerketten u. dgl., zum Heben sehr bedeutender Lasten in sogen. Hebetürmen (Trajekten). In ähnlicher Weise wird das Probieren der Dampfkessel ausgeführt, indem man den Kessel zunächst ganz mit Wasser füllt und die dazu benutzte Speisepumpe (Druckpumpe, welche mit dem Kessel verbunden ist) solange in Thätigkeit erhält, bis das Manometer den gesetzmäfsigen Druck (etwas mehr als der Druck beim Betriebe der Maschine betragen darf) anzeigt, oder das Wasser an dem entsprechend belasteten Sicherheitsventile hervordringt.

[1]) ὕδραυλος (hydraulos), Wasserorgel (ein von den Griechen erfundenes musikalisches Instrument).

Übungsstoff. 1. Eine ganz mit Flgk. gefüllte Flasche zerspringt leicht durch einen kräftigen Schlag auf den Kork. Erkl.! — 2. Warum mufs bei einer hydr. Presse der Prefscylinder weiter sein als der Pumpencylinder? — 3. Welche von den drehbaren einfachen Maschinen kommt bei ihrer praktischen Anwendung hinsichtlich der Kraftersparnis der hydr. Presse wohl am nächsten? — 4. Der Querschnitt des Prefskolbens einer hydr. Presse sei 120 mal so grofs als der des Pumpenkolbens, die Hebelarme verhalten sich wie 5 : 1. Welche Druckvergröfserung findet statt? — 5. Wie grofs müfste die Kr. sein, wenn ein Druck von 18 000 kg ausgeübt werden sollte? — 6. Um wv. müfste der Prefskolben sich heben, wenn die Kr. einen Weg von 60 cm zurücklegte? — 7. Wie grofs ist der durch die hydr. Presse bewirkte Druck, wenn der Querschnitt des Prefskolbens 800 qcm, der des Pumpenkolbens 5 qcm, der Hebelarm der Kr. 90 cm, der Hebelarm der L. 15 cm und die Kr. 24 kg beträgt? — 8. Wie grofs müfste die Kr. sein, wenn der Druck 15 000 kg betragen sollte? — 9. Wie verhalten sich die Wege zu einander, welche beide Kolben gleichzeitig zurücklegen? — 10. In Fig. 268 deuten O und O_1 zwei Durchbohrungen für die Drehungsachse des Hebels an. Welchen Zweck mag diese Einrichtung haben?

§ 80. Druckverhältnisse im Innern einer Flüssigkeit. Boden- und Seitendruck, Aufdruck.

Aus der **Schwere** und der **leichten Verschiebbarkeit** der Flüssigkeitsteilchen erklären sich folgende Erscheinungen:

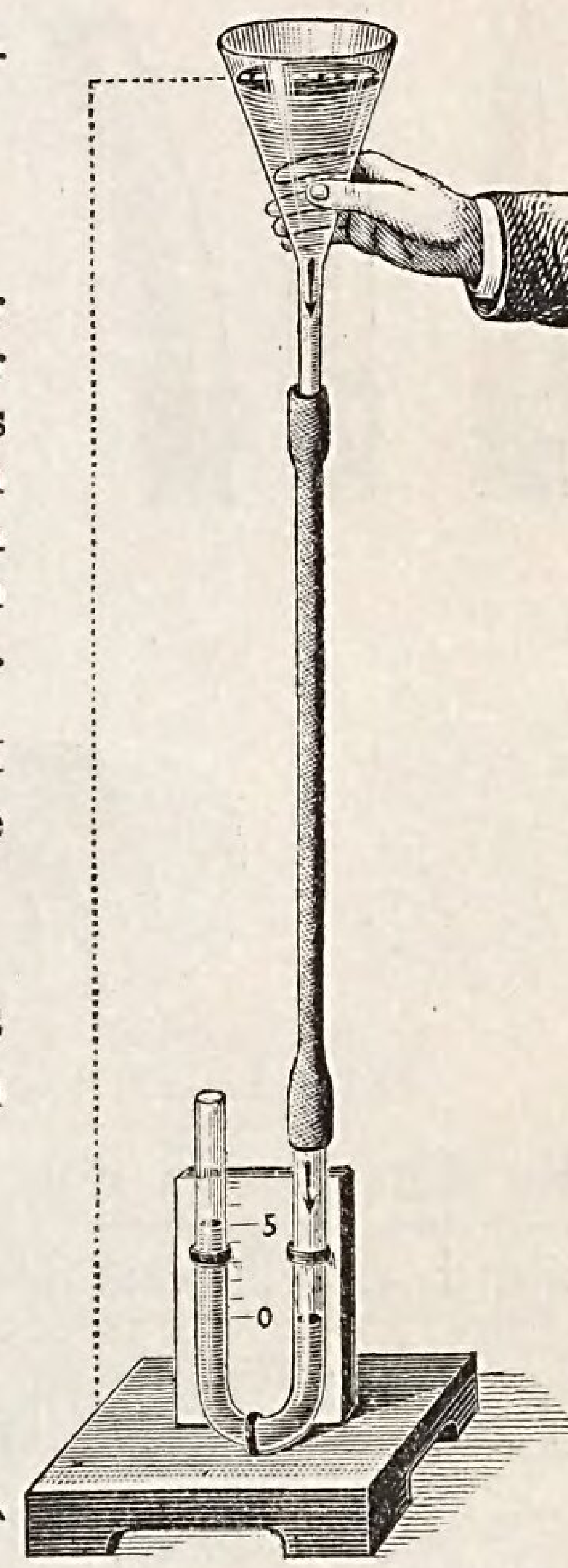
1. Gestalt der freien Oberfläche flüssiger Körper. Wenn nur die Schwerkraft auf eine Flüssigkeit einwirkt, so mufs ihre Oberfläche im Zustande der Ruhe so gekrümmt sein, wie die Oberfläche einer Kugel mit dem Halbmesser der Erde, denn bei ungleicher Höhe würden die höher gelegenen Teilchen in die tieferen Stellen hinabgleiten. Wegen der Gröfse des Erdradius (annähernd 6366 km) ist diese Krümmung nur merklich, wenn die Flüssigkeit eine bedeutende Ausdehnung hat (Meeresspiegel); die Oberfläche kleinerer Flüssigkeitsmengen bildet im Ruhezustande eine wagerechte Ebene.

2. Allseitiger Druck im Innern der Flüssigkeit. Im Innern einer Flüssigkeit erleidet jedes Flüssigkeitsteilchen durch das Gewicht der senkrecht über ihm liegenden Teilchen einen Druck, der um so stärker sein mufs, je gröfser die Anzahl der Flüssigkeitsteilchen ist, welche über den gedrückten Teilchen liegen, je tiefer also das Teilchen unter dem Flüssigkeitsspiegel liegt. Diesem Drucke würden die Teilchen bei ihrer leichten Verschiebbarkeit offenbar nach allen Richtungen mit gleicher Leichtigkeit ausweichen, wenn nicht die benachbarten Teilchen oder die Wand des Gefäfses einen gleichen Widerstand leisteten. Der in der Flüssigkeit vorhandene senkrechte Druck nach unten wird demnach durch die leichte Verschiebbarkeit der Flüssigkeitsteilchen zu einem allseitigen (§ 16) und ein ruhiger Gleichgewichtszustand derselben ist nur dann möglich, wenn der Druck von allen Seiten her der gleiche ist.

3. Stand einer Flüssigkeit in leitend verbundenen Gefäfsen. Stellt man sich vor, in der Verbindungsröhre solcher Gefäfse (siehe Fig. 47) sei die Flüssigkeit durch eine leicht verschiebbare Querwand geteilt, so kann letztere sich offenbar nur dann in Ruhe befinden, wenn der Druck, welchen sie in jedem Punkte durch die Flüssigkeit erleidet, von beiden Seiten gleich ist. Dies ist nach dem Vorigen (2.) aber nur dann möglich, wenn die Flüssigkeit in beiden Schenkeln des Gefäfses gleichhoch steht, d. h. wenn die Oberflächen in derselben Horizontalebene liegen.

Werden zwei kommunizierende Gefäfse mit Flüssigkeiten von verschiedenem specifischen Gewicht gefüllt, so verhalten sich die Höhen der im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeitssäulen umgekehrt wie ihre specifischen Gewichte. Die Form und Stellung der Röhre ist ohne Einflufs auf die Höhe der Flüssigkeitssäulen.

Fig. 269.



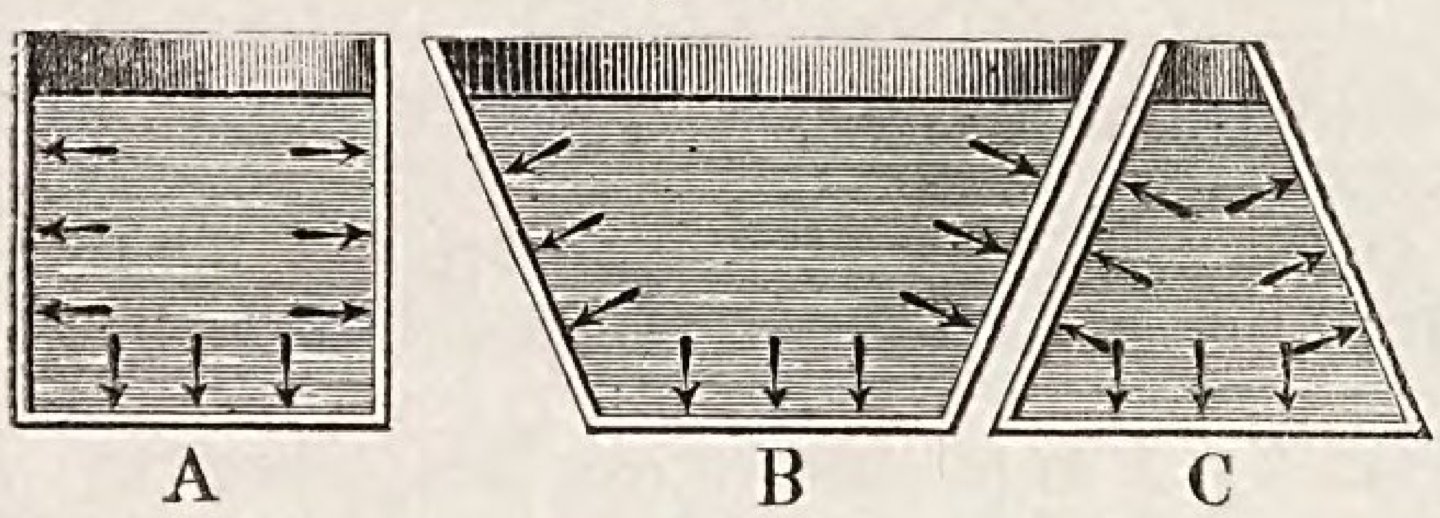
Bestätigung durch den Versuch:

Versuch. Verbindet man den einen Schenkel einer U förmig gebogenen und ungefähr zur Hälfte mit Quecksilber gefüllten Glasröhre (Fig. 269) mittelst eines Gummischlauches nacheinander mit mehreren Glasröhren von verschiedener Form und Weite und füllt jedesmal Schlauch und Röhren bis zu derselben Höhe mit Wasser, so steigt das Quecksilber im anderen Schenkel bei jeder Stellung der Röhren gleichhoch.

Es ist nun festzustellen, wie grofs der Druck ist, den eine Flüssigkeit auf den Boden und auf die Seitenwände eines Gefäfses ausübt.

1. Bodendruck. Die Gröfse des Bodendruckes im Verhältnis zum Gewicht der im Gefäfs enthaltenen Wassermasse ergiebt sich durch folgende Überlegung: In dem Gefäfs mit senkrechten Wänden (A, Fig. 270) heben sich die auf dieselben gerichteten Druckkräfte (in der Figur durch Pfeile angedeutet) auf; es kommt also für den Bodendruck nur die nach unten gerichtete Druckwirkung in Betracht, welche dem Gewicht der Wassermasse entsprechen mufs.

Fig. 270.



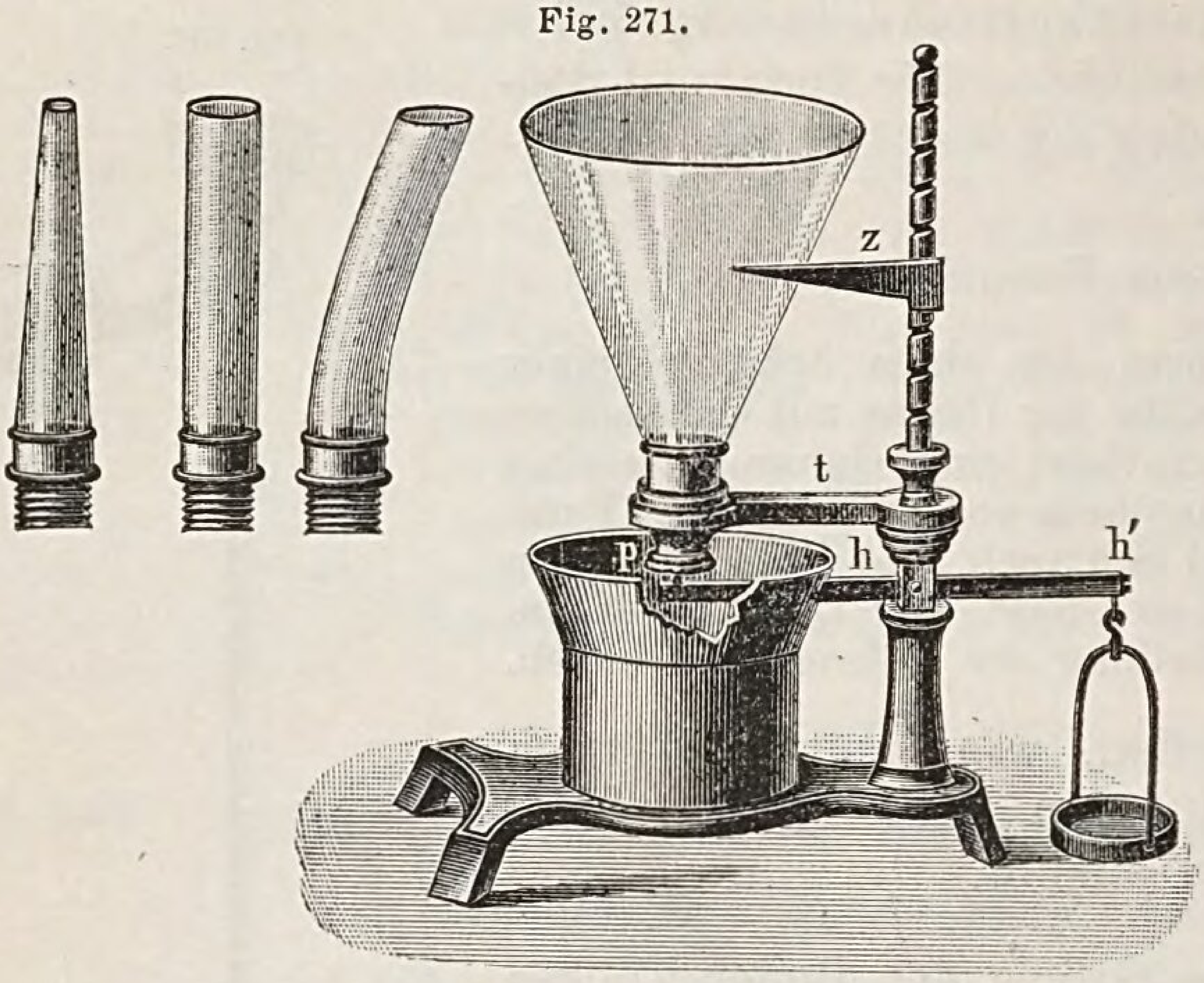
Bei dem nach oben erweiterten Gefäfs (B) wirkt der Wasserdruck auf die Seitenwände schräg nach unten; dieser Teil des Druckes wird aber durch den Widerstand der Wände aufgehoben, sodafs für die Bodenfläche wiederum nur der Druck der senkrecht über derselben stehenden Wassersäule in Betracht kommt. Bei dem nach oben enger werdenden Gefäfs (C) wirkt der Seitendruck schräg nach oben und sucht also das Gefäfs zu heben, während die Bodenfläche, da sie ebenso grofs ist und das Wasser gleichhoch steht, denselben Druck erleidet, wie in den beiden anderen Gefäfsen.

Der Bodendruck ist also in jedem Fall gleich dem Gewicht der senkrecht über dem Boden stehenden Wassersäule; von der Form der Gefäfse ist er unabhängig und kann also auch kleiner oder gröfser sein als das Gewicht des im Gefäfse enthaltenen Wassers. Diese Folgerung hat man, weil sie einen Widerspruch zu enthalten scheint, das **hydrostatische Paradoxon**[1]) genannt. Ihre Richtigkeit läfst sich indes leicht

[1]) Hydrostastik, Lehre vom Gleichgewicht der Flüssigkeiten.

nachweisen mittelst einer Wage, deren eine Wagschale als beweglicher Boden verschiedener Gefäfse dient, welche man nacheinander auf das Gestell aufschraubt (Pascalscher Apparat, Fig. 271). Bei gleicher Höhe der Wassersäulen bleibt der Bodendruck beim Aufschrauben der verschiedenen Gefäfse unverändert derselbe, sodafs man also dasselbe Gewicht auf die andere Wagschale legen mufs, um dem Druck gegen die bewegliche Bodenplatte das Gleichgewicht zu halten.

Fig. 271.



Bestätigung durch den Versuch.

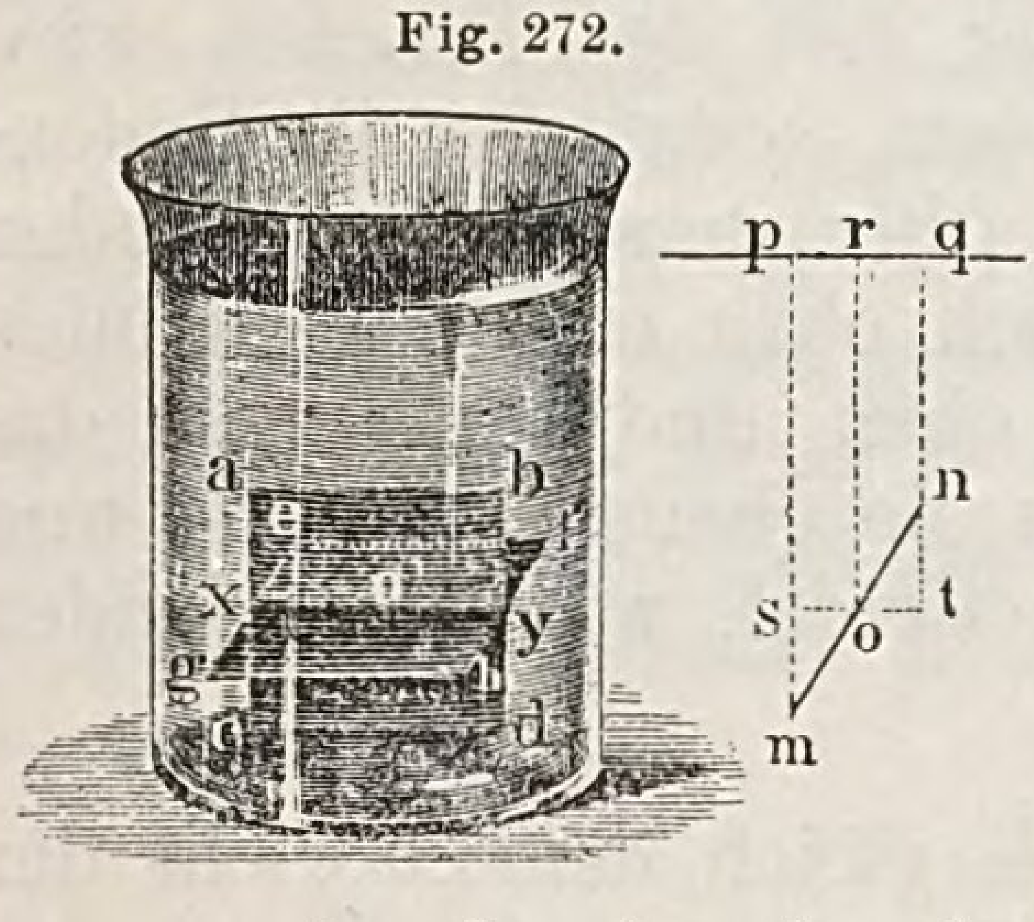
Der Bodendruck ist gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, die den Boden des Gefäfses zur Grundfläche und den senkrechten Abstand des Flüssigkeitsspiegels vom Boden zur Höhe hat.

Für Wasser ist D = G . h; für jede andere Flüssigkeit D = G . h . s, wenn D den Druck, G die Grundfläche, h die Höhe und s das spec. Gewicht bezeichnet.

Der Apparat (Fig. 271) zum Nachweis des Gesetzes vom Bodendruck hat seinen Namen nach Pascal, der (um 1653) die Gesetze vom Gleichgewichtszustande der Flüssigkeiten in scharfsinniger Weise begründet hat; das Verdienst, dieselben zuerst aufgefunden zu haben, gebührt dem Holländer Stevin (um 1586).

2. Seitendruck. Zur Bestimmung des Seitendruckes sei eine etwa 5 cm breite quadratische Platte 10 cm tief in eine Flüssigkeit eingetaucht und in verschiedene Lagen gebracht (Fig. 272). Die Platte liege zunächst wagerecht. Wie grofs ist dann der Druck, welchen die Flüssigkeit von oben auf sie ausübt? Wird die Platte darauf um eine durch ihren Schwerpunkt (o) gehende wagerechte Gerade (xy) gedreht, so behalten nur diejenigen Punkte ihre ursprüngliche Entfernung vom Flüssigkeitsspiegel, welche in dieser Geraden liegen; für diese Punkte bleibt demnach der Druck unverändert. Alle übrigen Punkte aber kommen entweder in eine höhere oder tiefere Lage. Da nun hierbei jedem höher gelegenen Punkte ein Punkt entspricht, welcher um ebensoviel tiefer liegt (siehe die Figur rechts), so wird der Druck auf die ganze Fläche durch diese Änderung der Lage weder kleiner noch gröfser. Ähnliche Betrachtungen lassen sich für jede anders geformte Fläche anstellen, mag diese im Innern der Flüssigkeit liegen, oder mit der Wand des Gefäfses zusammenfallen. Hieraus folgt der allgemeinere Satz:

Fig. 272.

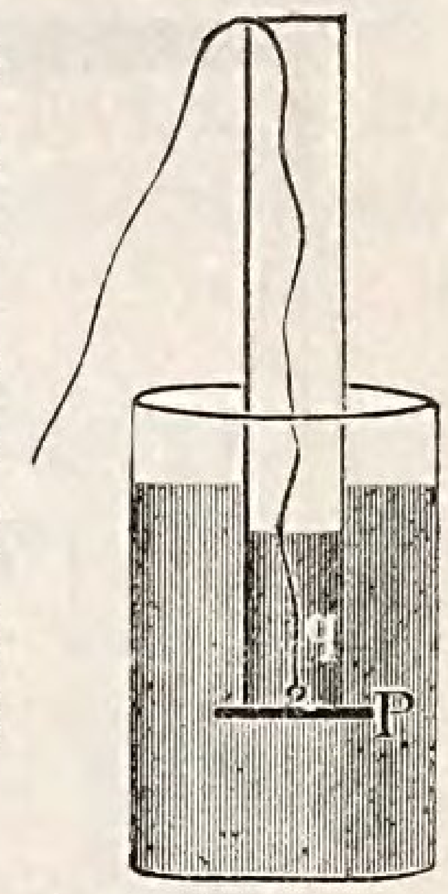


Der *Seitendruck* einer Flüssigkeit ist gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche die gedrückte Fläche zur Grundfläche und die Entfernung ihres Schwerpunktes vom Flüssigkeitsspiegel zur Höhe hat.

Von der Gröfse des Seitendruckes ist die Ausflufsgeschwindigkeit eines Wasserstrahles, sowie der Rückstofs ausfliesenden Wassers (§ 16) abhängig.

3. Aufdruck. Der Druck im Innern einer Flüssigkeit mufs sich nach dem Gesetze der allseitigen Fortpflanzung desselben auch in der Richtung von unten nach oben äufsern. Das Vorhandensein dieses sogen. *Aufdruckes* läfst sich durch einen *Versuch* (nach Fig. 273) leicht bestätigen. Der Aufdruck trägt das Gewicht der Platte p und der Wassersäule q, welche von oben in den Cylinder gegossen wird (am besten gefärbtes Wasser). Die Platte p fällt erst ab, wenn das Wasser im Cylinder fast ebenso hoch steht, wie aufserhalb desselben; inwiefern ist die Höhe des Wassers im Cylinder vom Gewicht der Platte abhängig?

Fig. 273.



Wie läfst sich das Gesetz über den Aufdruck in Worten aussprechen?

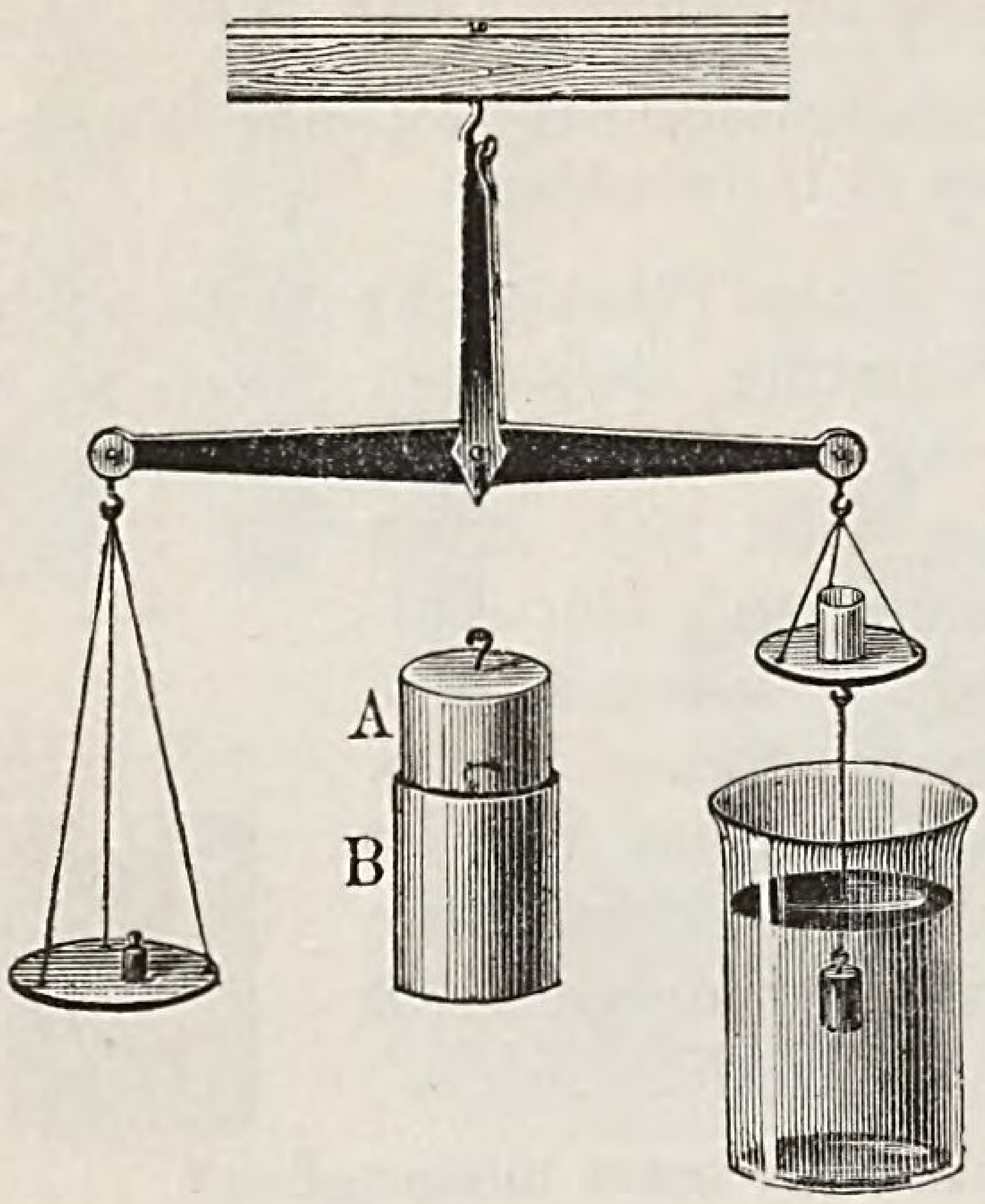
Übungsstoff. 1. Welcher Widerspruch scheint in dem Gesetze über den Bodendruck zu liegen? — 2. Mit W. gefüllte Gefäfse von der Form der 3 Gefäfse A, B und C (Fig. 270) sollen auf dem Kopfe getragen werden. Hat der Kopf dann den Bodendruck oder das Gew. des W. zu erleiden? — 3. Wie würde sich der Druck auf die Bodenplatte ändern, wenn man das W. in den Pascalschen Vasen (Fig. 271) gefrieren liefse? — 4. Warum darf ein Regenfafs, in dessen Deckel das Rohr einer Dachrinne mündet, oben nicht dicht verschlossen sein? — 5. Wv. würde bei dichtem Verschlufs der Druck auf den Boden des Fasses betragen, wenn dieser 80 cm breit wäre und das W. bei einem starken Regen 5 m hoch in der Röhre stände (vom Boden ab)? — 6. Ein nach oben sich erweiterndes Gefäfs enthalte 8 Liter W. Wäre es überall gleichweit, so würden bei gleicher Höhe des Wasserstandes 2 Liter weniger darin sein. a. Welches Gew. hat das W.? b. Wie grofs ist der Druck des W. auf den Boden des Gefäfses? — 7. Ein anderes, nach oben sich verengendes Gefäfs mit gleicher Bodenfläche enthalte bei derselben Wasserhöhe nur 4 Liter W. Wie grofs ist in diesem Falle der Bodendruck und das Gew. des W.? — 8. Welchen Druck erleidet 1 qm der Seitenfläche eines Deiches, wenn der Schwerpunkt der Fläche 60 cm unter dem Wasserspiegel liegt? — 9. Wie grofs ist der Druck des W. gegen ein Schleusenthor von 6 m Breite und 4 m Höhe, wenn das W. bis zur Mitte desselben steht? — 10. In welcher Weise kann man den Druck, welchen W. in kommun. Röhren (Wasserleitungen) ausübt, als hebende Kraft verwenden? (sogen. *hydraulische Aufzüge*.)

§ 81. Gewichtsverlust fester Körper in Flüssigkeiten. Die tägliche Erfahrung lehrt, dafs ein Körper in Wasser eingetaucht leichter erscheint als aufserhalb desselben (Beispiele!) Es bleibt zu untersuchen, wovon die Gröfse dieses Gewichtsverlustes abhängig ist.

Versuch. Man hänge an das eine Ende eines Wagebalkens an Stelle der einen Wagschale zwei kleine Messingcylinder (A und B, Fig. 274, folg. Seite), von denen der eine hohl, der andere massiv und genau so grofs ist, dafs er den hohlen Cylinder ausfüllt, oder man hänge die eine Schale kürzer auf und verfahre, wie in der Figur angegeben ist. Darauf werde Gleichgewicht hergestellt. Taucht man dann den unteren

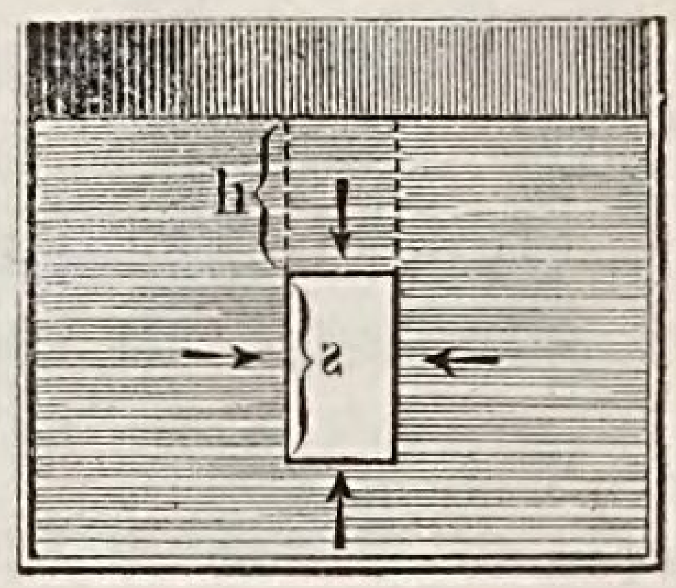
Cylinder ganz in Wasser ein, so wird das Gleichgewicht aufgehoben; es ist jedoch wieder hergestellt, sobald man den hohlen Cylinder vollständig mit Wasser füllt. Versuche mit anderen Flüssigkeiten ergeben dasselbe. Hieraus folgt:

Fig. 274.



Ein Körper, welcher in eine Flüssigkeit eingetaucht und überall von ihr umgeben ist, verliert (scheinbar) von seinem Gewichte soviel, als die Flüssigkeit wiegt, welche er verdrängt: **Archimedisches Prinzip.**

Fig. 275.



Erklärung: Da der untergetauchte Körper (Fig. 275) in allen gleichtief unter dem Flüssigkeitsspiegel liegenden Punkten seiner Oberfläche den gleichen Druck erleidet, so heben sich die Seitendrucke gegenseitig auf. Anders verhält es sich mit den auf beiden Endflächen wirkenden Druckkräften. Da die untere Fläche um die Höhe (s) des Cylinders tiefer liegt als die obere Fläche, so ist der Druck, welchen sie von unten erleidet, auch um das Gewicht der vom Cylinder verdrängten Flüssigkeitssäule gröfser als der Druck auf die obere Fläche. Dieser Druckunterschied entspricht dem Gewichtsverlust.

An Stelle eines unregelmäfsig gestalteten Körpers kann man sich eine gleichgrofse Wassermasse denken und zwar im erstarrten Zustande. Da letztere vom umgebenden Wasser schwebend erhalten wird, so mufs von dem Gewichte des Körpers ebensoviel getragen werden.

Der Überdruck, welchen ein Körper durch eine ihn umgebende Flüssigkeit von unten über den Druck von oben erleidet, wird **Auftrieb** *genannt. Der Auftrieb ist gleich dem Gewichtsverluste des untergetauchten Körpers.*

Übungsstoff. 1. Eine Wage werde durch ein bis an den Rand mit W. gefülltes Gefäfs belastet und es sei Glgew. hergestellt. Wie wird sich die Wage verhalten, wenn man einen K. in das W. eintaucht und das überfliefsende W. entfernt? — 2. Wie aber, wenn das Gefäfs nur soviel W. enthält, dafs dasselbe beim Eintauchen des K. nicht überfliefsen kann? — 3. Wv. Kraft ist erforderlich, um a. mittelst einer festen, b. mittelst einer losen Rolle einen im W. untergetauchten Stein im Glgew. zu halten, welcher in der Luft 120 kg wiegt und 50 Liter W. verdrängt? — 4. Wv. wiegt ein K. von 36 cdm aufserhalb des W., wenn er im W. bei Anwendung einer losen Rolle durch 25 kg im Glgew. gehalten werden kann? — 5. Die obere Hälfte eines Würfels, dessen Seiten 1 qdm grofs sind, liege 20 cm tief unter dem Wasserspiegel. Wie grofs ist a. der Druck, welchen jede Seite des Würfels erleidet, wenn dieser senkrecht steht, b. der Auftrieb? — 6. Was würde eintreten, wenn der Würfel im W. losgelassen würde und sein Gew. a. 500 g, b. $1\frac{1}{2}$ kg betrüge? — 7. Mit welcher Kraft würde er im W. untersinken oder aufsteigen, wenn er aus Blei bestände? (§ 17.) — 8. Eine überall verschlossene Tonne von 2,5 cbm Rauminhalt und 150 kg Gew. werde in W. untergetaucht. Mit welcher Kraft wird sie wieder aufsteigen? — 9. Wv. kg könnte die Tonne im W. heben? —

10. Wv. solcher Tonnen müfste man anwenden, um einen Gegenstand, welcher im W. 4000 kg wiegt, zu heben?

§ 82. Das Schweben, Untersinken und Schwimmen in einer Flüssigkeit. Vergleicht man das Gewicht (P) eines Körpers mit dem Gewichtsverluste (Q), welchen derselbe erleidet, wenn er in einer Flüssigkeit untergetaucht ist, so lassen sich 3 Fälle unterscheiden: $P < Q$, $P = Q$ und $P > Q$ (in Worten?).

1) Ist $P < Q$, so mufs der Körper, wenn er untergetaucht und dann sich selbst überlassen wird, dem Auftriebe folgen und solange in der Flüssigkeit *aufsteigen*, bis die verdrängte Flüssigkeit seinem Gewichte gleich ist.

2) Ist $P = Q$, so wird dem Auftriebe durch den untergetauchten Körper das Gleichgewicht gehalten; der Körper mufs also in der Flüssigkeit *schweben*.

Fig. 276.



3) Ist $P > Q$, so vermag der Körper den Auftrieb zu überwinden; er *sinkt* also in der Flüssigkeit.

Dies läfst sich in folgender Weise veranschaulichen.

Versuch a. Wirft man ein Stück Wachs oder Stearin in einen mit Weingeist gefüllten Mafscylinder (Fig. 276), *so sinkt es darin unter.* Mischt man darauf den Weingeist mit soviel Wasser, dafs das spec. Gewicht der Flüssigkeit dem des Körpers gleich ist, so *schwebt* letzterer in der Flüssigkeit; bei Zusatz von noch mehr Wasser steigt der Körper darin auf und *schwimmt* in der Flüssigkeit.

Ein Körper *schwimmt* in einer Flüssigkeit, wenn sein Gewicht kleiner ist als sein Auftrieb; er *schwebt* darin, wenn Gewicht und Auftrieb einander gleich sind; er *sinkt* darin unter, wenn sein Gewicht gröfser ist als der Auftrieb.

Das Gewicht der von einem *schwimmenden Körper* verdrängten Flüssigkeitsmenge ist dem Gewichte des Körpers selbst gleich.

Je nach der Lage, welche der Schwerpunkt eines Körpers gegen den Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit einnimmt, können verschiedene Erscheinungen eintreten:

Versuch b. Ein Stück Wachs oder Stearin (siehe Fig. 276), das an einem Ende durch eine kleine Bleikugel (Bleischrot) belastet ist, lege man in eine Kochsalzlösung, in welcher der Körper *schwebt*. Ebenso verfahre man mit einem nicht belasteten Stück Wachs oder Stearin unter Anwendung einer Mischung aus Weingeist und Wasser. Giebt man dann den beiden Körpern verschiedene Lagen, so behält der unbelastete Körper jede ihm gegebene neue Lage bei, während der belastete Körper stets seine ursprüngliche Lage wieder einzunehmen strebt.

Erklärung. Da man sich das Gew. eines Körpers in seinem Schwerpunkte vereinigt denken kann, so läfst sich der *Schwerpunkt des in einer Flüssigkeit schwebenden oder schwimmenden Körpers* als Angriffspunkt des abwärts gerichteten, der *Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit* als Angriffspunkt der aufwärts gerichteten Druckkräfte, also gleichsam als Unter-

stützungspunkt des Körpers ansehen. Schwebt nun der Körper in der Flüssigkeit, so bleibt die gegenseitige Lage der beiden Schwerpunkte offenbar immer dieselbe; schwimmt er aber auf der Flüssigkeit, so können mancherlei Änderungen eintreten. Der erstere Fall ist demnach der einfachere: *Fallen die beiden Schwerpunkte zusammen, so ist der Körper in jeder Lage im Gleichgewichte* (indifferente Gleichgewichtslage); *im anderen Falle stellt der Körper sich so, dafs sein Schwerpunkt senkrecht unter dem Schwerpunkte des Auftriebes liegt* (sichere Gleichgewichtslage). Ähnliches gilt auch für schwimmende Körper. Ein Schiff kentert um so schwerer, je tiefer sein Schwerpunkt liegt (Ballast der Schiffe).

Übungsstoff. 1. Taucht man ein etwa durch Bleischrot belastetes Probiergläschen (Fig. 277) in W., so schwimmt es darin, obgleich Glas und Blei sonst im W. untersinken (Schiffe mit Ballast, eiserne Schiffe). Erkl.! — 2. In einem mit W. gefüllten und mit Tierblase oder Kautschuk verschlossenen Gefäfse (Fig. 278) sinkt ein hohler, unten offener Schwimmer hinab, wenn man auf das W. einen Druck ausübt; läfst der Druck nach, so steigt er wieder. Erkl.! (Die bisweilen auf Jahrmärkten gezeigten kleinen Taucher haben eine menschenähnliche Gestalt. Cartesianische Taucher.) — 3. Wie läfst es sich deuten, dafs die Schwimmblase der Fische dicht unter dem Rückgrat liegt, und welche Bedeutung hat dieselbe überhaupt für das Schwimmen? — 4. Erkläre die verschiedenen Arten des künstlichen Schwimmens (Brust- und Rückenschwimmen), die Anwendung von Schwimmgürteln und Korkplatten, das leichtere Schwimmen im Meerwasser u. s. w. — 5. Warum sinken Badende um so tiefer ein, je weiter sie die Arme aus dem W. hervorstrecken, und welchen Erfolg mufs es haben, wenn man beim Schwimmen tief einatmet? — 6. Warum können vierfüfsige Tiere leichter schwimmen als Menschen? — 7. Welche Regeln müssen beim Schiffsbau und bei der Belastung von Schiffen beachtet werden, damit dieselben stabil schwimmen? — 8. Wie ändert sich der Tiefgang eines Schiffes, wenn es vom Meere in einen Flufs fährt?

Fig. 277.

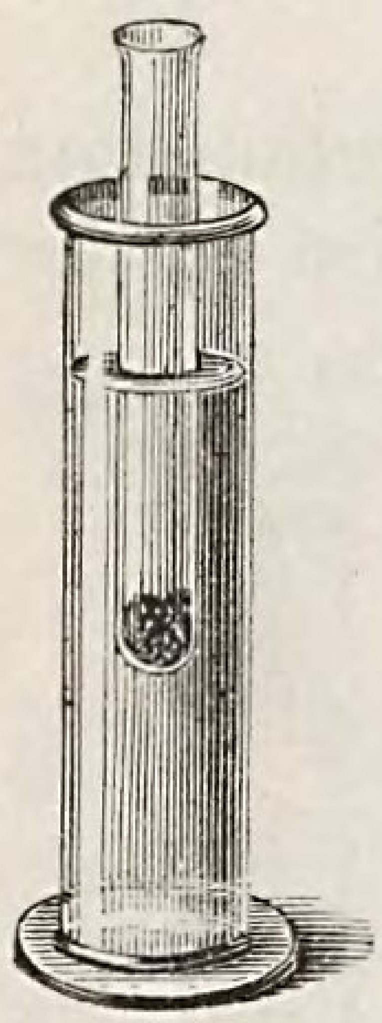
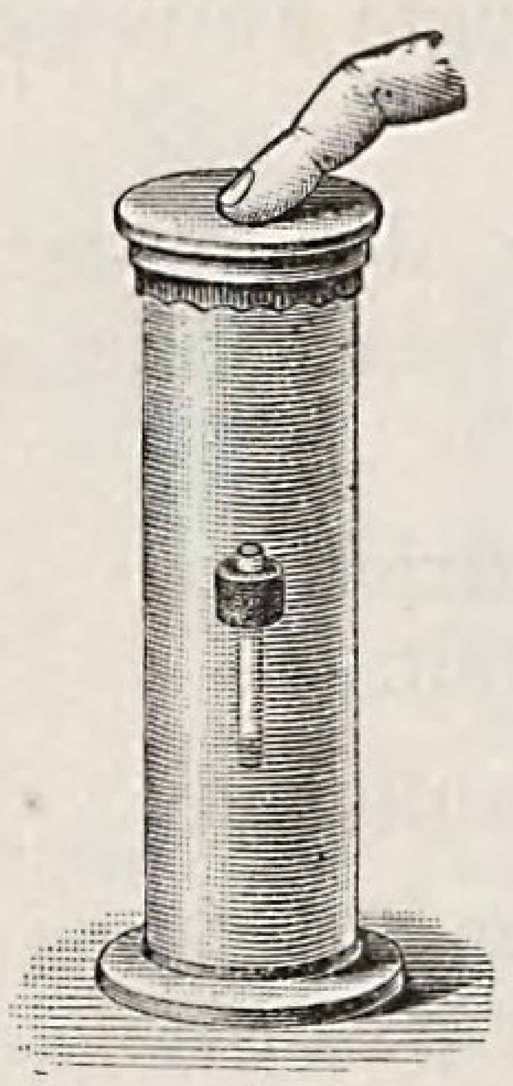


Fig. 278.



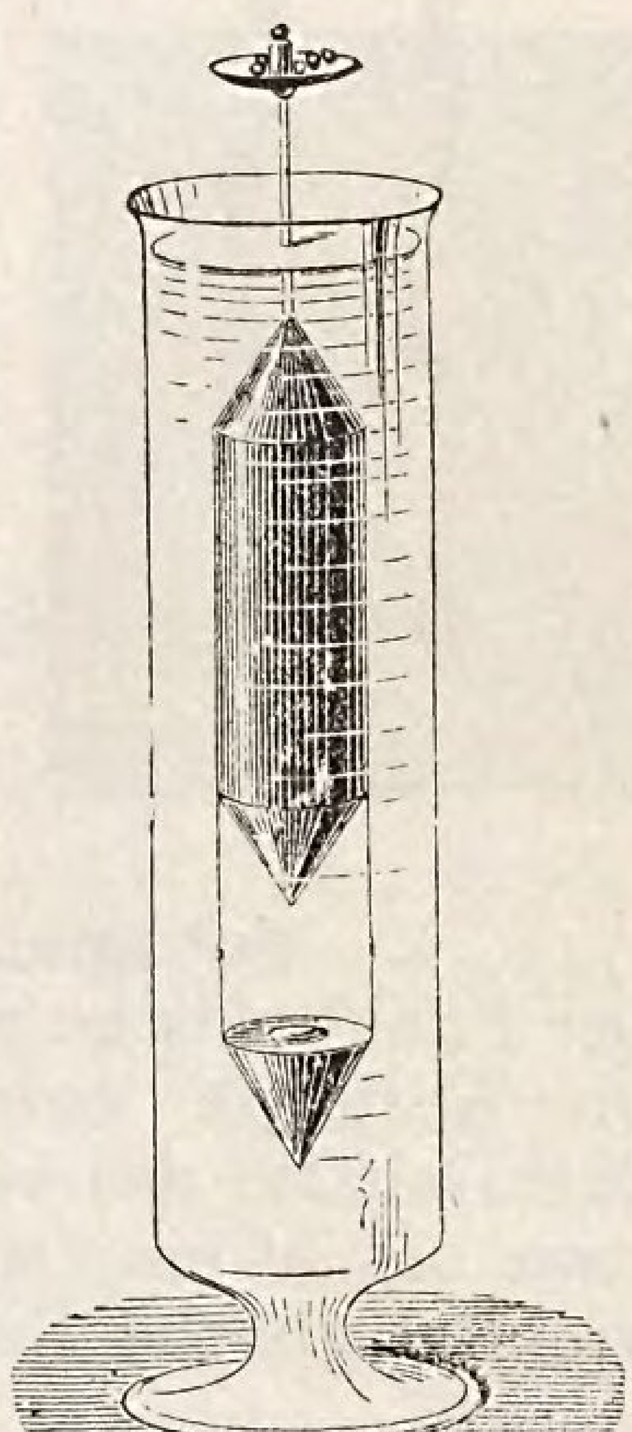
§ 83. Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper. Das spec. Gewicht ist das Gewicht der Volumeneinheit eines Körpers (§ 17). Beträgt das absolute Gewicht eines Körpers p (gr) und sein Volumen v (ccm), so besteht demnach die Beziehung: $p = vs$, woraus sich ergiebt: $s = \frac{p}{v}$, d. h.: *das spec. Gewicht eines Körpers erhält man, indem man sein absolutes Gewicht durch sein Volumen dividiert.*

Da indes die Bestimmung des Volumen unregelmäfsig gestalteter Körper auf einfache Weise nur durch die Wasserverdrängung auszuführen ist, so verwendet man zur Bestimmung des spec. Gew. auch direkt das archimedische Princip. Man fafst das spec. Gewicht dann als eine unbenannte Zahl auf, welche angiebt, wieviel mal so schwer ein Körper ist als ein gleichgrofses Volumen Wasser (§ 17). Das Gewicht eines dem Körper gleichen Volumens Wasser wird durch den Gewichtsverlust ermittelt; bezeichnet man denselben mit q, so entsteht die Gleichung: $s = \frac{p}{q}$, d. h. *man erhält das spec. Gew. eines Körpers, indem man sein absolutes Gewicht durch den Gewichtsverlust, welchen er im Wasser erleidet, dividiert.*

Bem. Kommt es bei den Bestimmungen des spec. Gewichtes der Körper auf grofse Genauigkeit an, so mufs darauf Rücksicht genommen werden, dafs Wasser bei 4° C seine gröfste Dichtigkeit hat. Ist die Ausdehnung des Körpers beträchtlich, so pflegt man aus dem gefundenen spec. Gewichte das spec. Gewicht für dasjenige Volumen zu berechnen, das er bei 0° einnimmt.

I. Bestimmung des spec. Gewichts fester Körper. *a. Mittelst der hydrostatischen Wage, d. h. einer Balkenwage, an welcher die eine Wagschale unterhalb mit einem Häkchen versehen und kürzer aufgehängt ist* (Fig. 274). Die Körper werden, nachdem man vorher ihr absolutes Gewicht bestimmt hat, mittelst eines dünnen Fadens oder Drahtes an dem Häkchen aufgehängt und darauf ganz im Wasser untergetaucht. Das Gewicht im Wasser, abgezogen vom absoluten Gewicht, ergiebt den Gewichtsverlust, mit dem man in das absolute Gewicht zu dividieren hat, um das spec. Gewicht zu erhalten.

Fig. 279.



Ist der Körper leichter als Wasser, so verbindet man ihn mit einem anderen, schwereren Körper, dessen Gewichtsverlust man kennt, und zieht letzteren Gewichtsverlust von dem Gewichtsverluste beider Körper ab (Beisp.: Kork und Blei). Wenn der Körper im Wasser löslich ist, so bestimmt man seinen Gewichtsverlust in einer Flüssigkeit, in der er sich nicht auflöst, und deren spec. Gewicht bekannt ist (Beisp.: Kochsalz und Öl). Man ermittelt dann zunächst, wievielmal so grofs sein absolutes Gewicht ist als der Gewichtsverlust, welchen er in jener Flüssigkeit erleidet, und multipliziert die erhaltene Zahl mit dem spec. Gewichte der Flüssigkeit.

b. Mittelst des Gewichts-Aräometers. Das **Nicholsonsche Gewichtsaräometer**[1]) (Fig. 279) besteht aus einem hohlen Schwimmer von Blech, welcher oben auf einem senkrechten Drahte eine kleine Schale zur Aufnahme von Gewichtstücken und unten ebenfalls eine Schale oder ein siebartiges Körbchen trägt. Die obere Schale wird zunächst so stark belastet, dafs der Apparat bis zu einer am Drahte angebrachten Marke einsinkt. Legt man dann den Körper, dessen spec. Gewicht bestimmt werden soll, auf die obere Schale und nimmt soviel Gewicht weg, dafs die Marke den Wasserspiegel wieder berührt, so erhält man das *absolute Gewicht* des Körpers. Wird der Körper hiernach auf die untere Schale gelegt und oben wieder soviel Gewicht hinzugefügt, dafs der Apparat abermals bis zur Marke einsinkt, so erhält man den *Gewichtsverlust* durch Vergleichung der in beiden Fällen aufgelegten Gewichte.

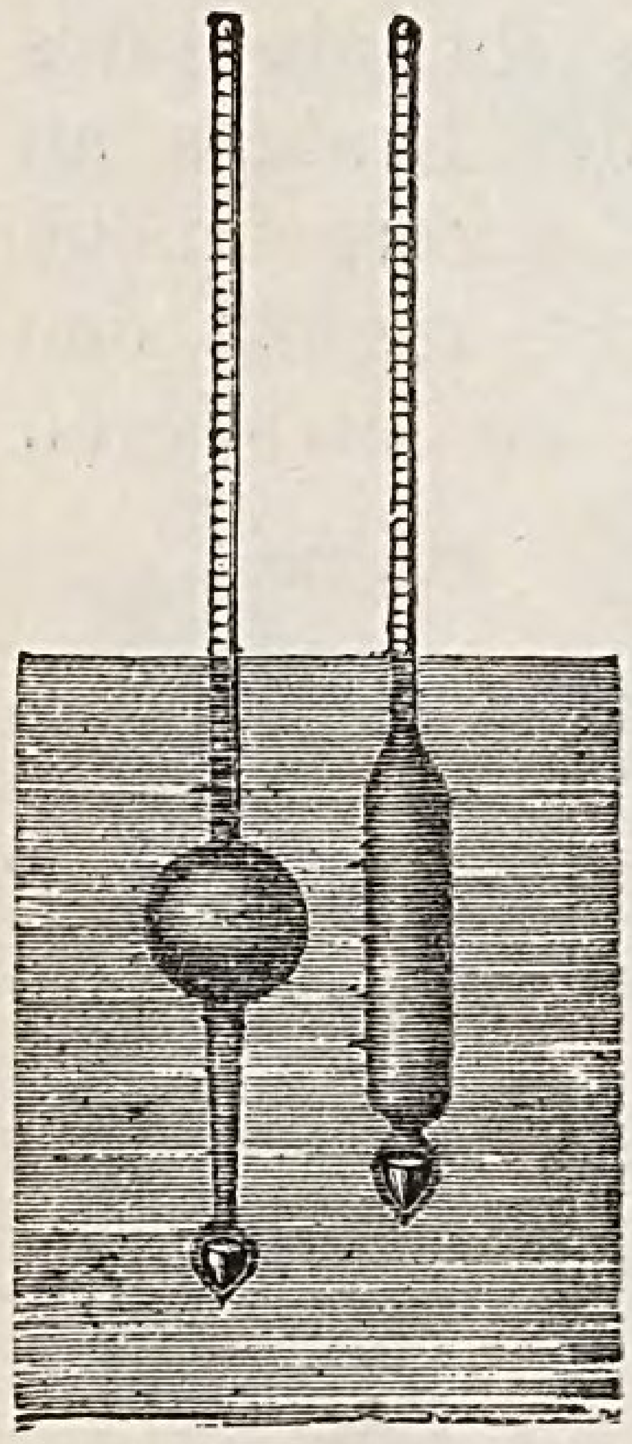
II. Bestimmung des spec. Gewichts flüssiger Körper. *a. Mittelst des sogen. Hundertgrammfläschchens (Pyknometer).* Dasselbe ist ein Fläschchen von bekanntem Gewicht, welches bis zu einer bestimmten Marke genau 100 g Wasser fafst. Man füllt es mit der zu bestimmenden Flüssigkeit bis zur Marke und ermittelt durch Abwägen und Subtrahieren

[1]) ἀραιός (araiós), dünn.

des Gewichts der Flasche das absolute Gewicht der Flüssigkeit. Die Division der erhaltenen Zahl durch 100 ergiebt das spec. Gewicht.

b. Mittelst der hydrostatischen Wage, indem man den Gewichtsverlust eines unter die kürzere Wagschale gehängten Senkgläschens im Wasser und in der zu untersuchenden Flüssigkeit bestimmt und letzteren durch ersteren dividiert.

Fig. 280.



c. Mittelst des Gewichtsaräometers. Man bestimmt dessen Gewicht und addiert dazu nacheinander die Zulagegewichte, welche das Aräometer erst in Wasser und dann in der anderen Flüssigkeit bis zur Marke einsinken machen. Durch diese Zahlen erhält man die Gewichte der vom Aräometer verdrängten Wasser- und Flüssigheitsmenge, deren Quotient das spec. Gewicht ergiebt.

d. Mittelst der Skalenaräometer. Diese Aräometer *(Senkwagen)* sind Glasröhren, deren unterer Teil cylindrisch, birnförmig oder kugelig erweitert ist (Fig. 280). Im Innern der Röhre (Spindel) ist in der Regel eine auf Papier gezeichnete Skala angebracht. Das untere, äufserste Ende der Röhre ist etwas aufgeblasen und mit Quecksilber oder Bleischrot gefüllt, damit das Instrument in der Flüssigkeit senkrecht schwimmt. Nach der Beschaffenheit der Skala unterscheidet man dreierlei Aräometer:

1. **Volumeter,** *d. h. Senkwagen, deren Skala gleiche Raumteile angiebt.* Der Punkt, bis zu welchem das Instrument im Wasser einsinkt, ist mit 100 bezeichnet. Die Abstände zwischen den einzelnen Teilstrichen geben Hundertteile von dem Rauminhalte des verdrängten Wassers an. Sinkt das Volumeter in einer Flüssigkeit etwa bis 90 ein, so weifs man, dafs 90 Raumteile dieser Flüssigkeit soviel wiegen, wie 100 gleiche Raumteile Wasser.

2. **Densimeter,** *d. h. Senkwagen, deren Skala das spec. Gewicht einer Flüssigkeit unmittelbar angiebt,* sodafs eine Rechnung nicht nötig ist. Für Flüssigkeiten, welche leichter sind als Wasser, ist die Skala über dem Punkte angebracht, bis zu welchem das Instrument im Wasser einsinkt, für Flüssigkeiten von höherem spec. Gewichte dagegen unter demselben; warum?

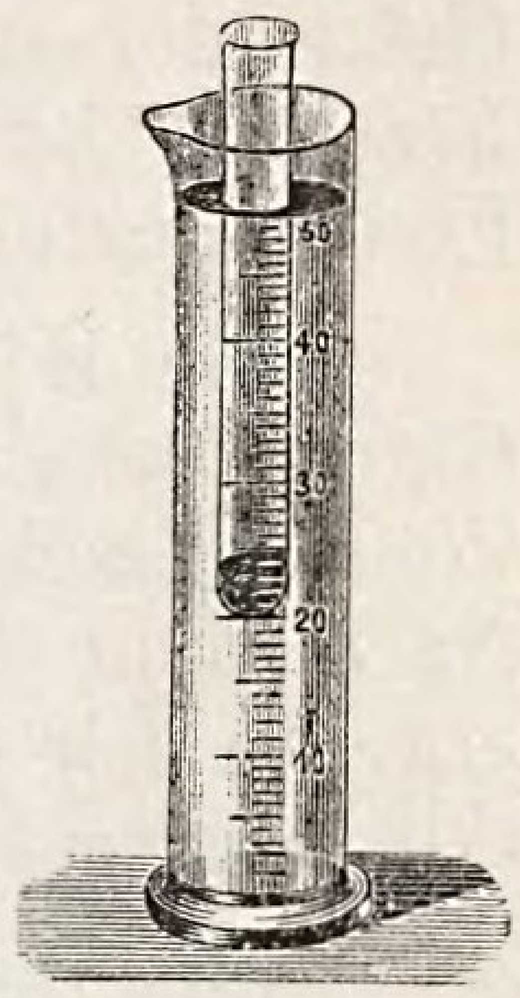
3. **Prozentaräometer** sind *solche Senkwagen, welche das Mischungsverhältnis zweier Flüssigkeiten in Prozenten unmittelbar angeben.* Da der Kaufwert gemischter Flüssigkeiten von ihrem Mischungsverhältnis abhängt, so werden im praktischen Leben diese Instrumente von allen Aräometern am meisten gebraucht. Ein Prozentaräometer, das zur Bestimmung von Alkohol dient, welcher mit Wasser gemischt ist, heifst *Alkoholometer.* Ist ein Prozentaräometer zur Bestimmung des Prozentgehaltes von Zuckerlösungen eingerichtet, so wird es *Saccharometer* genannt (*Bierwage* für Bierwürze, *Weinwage* für Most); *Salzspindeln* geben den Prozentgehalt von Kochsalzlösungen an, *Essigspindeln* den von Essig, *Milchwagen* dienen zur Untersuchung der Milch u. s. w.

Da das spec. Gewicht aller Körper bei der Erwärmung kleiner und bei der Abkühlung gröfser wird, so sind die Skalen sämtlicher Aräometer auf eine bestimmte Temperatur (gewöhnlich 15° C) bezogen, welche an jedem Instrumente angegeben ist.

Übungsstoff. 1. Wie läfst sich mit einem Mafscylinder annähernd bestimmen, wv. Gew. ein Stein im W. verliert? — 2. Der Stein wiege in der Luft 42 g und verdränge 15 ccm W. Wie grofs ist sein spec. Gew.? — 3. Eine Bleikugel

wog in der Luft 34 g, im W. 31 g. Wv. wiegt das verdrängte W., und welches ist hiernach das spec. Gew. des Bleies? — **4.** Ein Kork wog in der Luft 1,6 g; mit Blei verbunden ergab sich im W. ein Gewichtsverlust von 9 g, während das Blei allein nur 1 g verlor. a. Wv. W. hatte der Kork verdrängt? b. Spec. Gew. des Korkes? — **5.** Ein Stück Steinsalz habe ein absolutes Gew. von 11 g; in Petroleum getaucht sei es um 4 g leichter. Wievielmal so schwer ist Steinsalz a. als Petroleum, b. als W., wenn das spec. Gew. des Petroleums 0,8 ist, c. wie groſs würde der Gewichtsverlust im W. sein? (Berechne auch hiernach das spec. Gew. des Steinsalzes.) — **6.** Ein Gefäſs wog leer 110 g, mit W. gefüllt 235 g, mit Qu. gefüllt 1,81 kg. a. Wv. Qu. war im Gefäſse? b. Berechne das spec. Gew. des Qu. — **7.** Ein mit Schrotkörnern belastetes Probiergläschen (Fig. 281) sei einmal in einen mit W., ein andermal in einen mit Spiritus gefüllten Maſscylinder eingesenkt; das W. sei dabei um 10, der Spiritus um 12 ccm gestiegen. a. Vgl. die Gewichte der verdrängten Flgkn. miteinander. b. Berechne daraus das spec. Gew. des Spiritus. — **8.** Das Gläschen verdränge in W. 12, in Salzsäure 10 ccm. Spec. Gew.?

Fig. 281.



C. Von den luftförmigen Körpern.

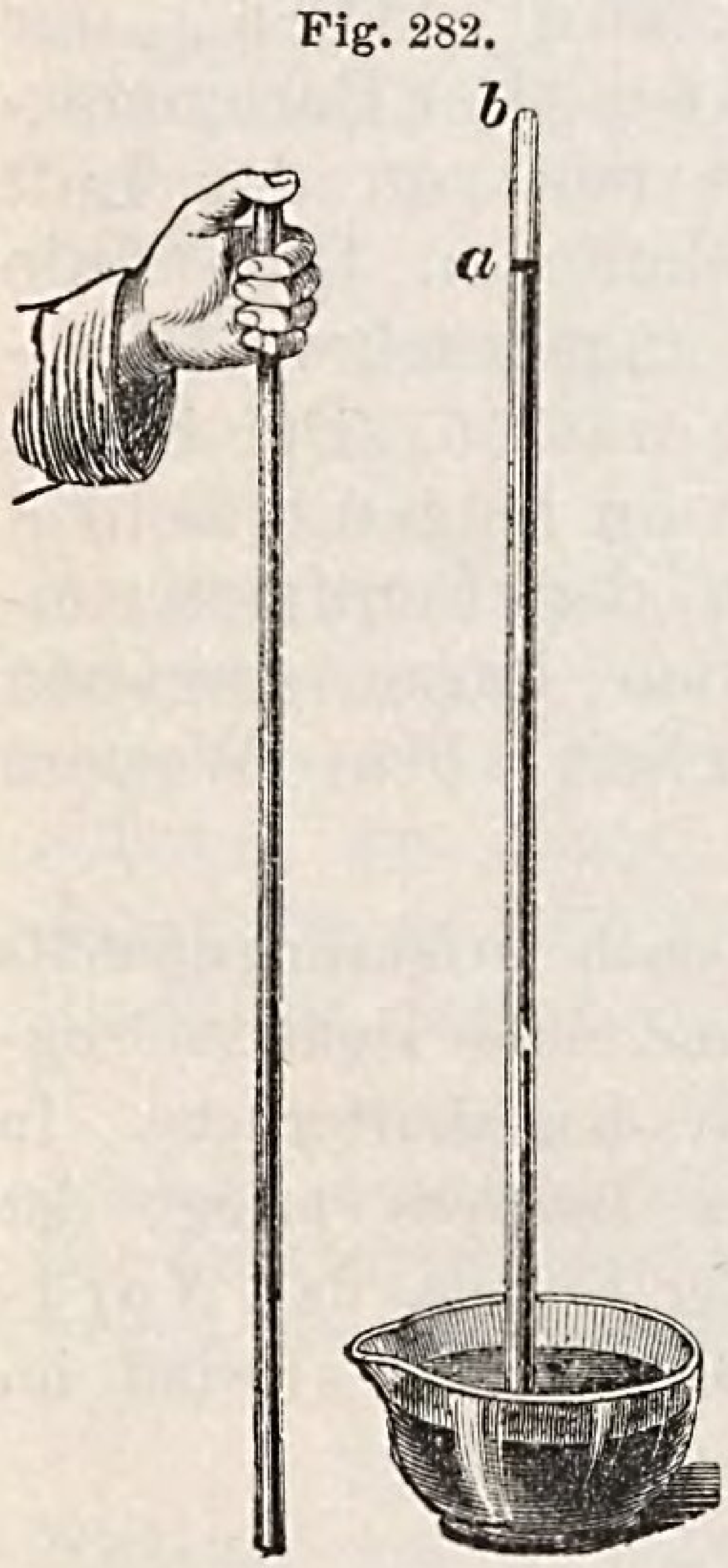
(Siehe §§ 18—21.)

§ 84. Gröſse des Luftdruckes. Barometer.

a. Die luftförmigen Körper besitzen in noch höherem Maſse als Flüssigkeiten die Eigenschaft, daſs ihre Teilchen vollkommen leicht verschiebbar sind. Der von ihnen infolge der Schwere ausgeübte Druck muſs daher wie bei den Flüssigkeiten mit der Gröſse der gedrückten Fläche im gleichen Verhältnis stehen und läſst sich demnach am einfachsten nach dem Drucke auf die Flächeneinheit (z. B. 1 qcm) berechnen.

Bei der Fortpflanzung eines äuſseren Druckes verhalten sich luftförmige Körper wesentlich anders als Flüssigkeiten, indem sie ihren Rauminhalt dabei in weit höherem Grade ändern. Hört der äuſsere Druck auf, so nehmen sie infolge ihrer Ausdehnsamkeit stets den ursprünglichen Raum wieder ein. Letztere Eigenschaft macht es auch erklärlich, daſs geringe Mengen eines eingeschlossenen luftförmigen Körpers auf die Wand des Gefäſses einen über die Wirkung der Schwere weit hinausgehenden Druck auszuüben vermögen.

Fig. 282.



Wie groſs der von der freien Luft ausgeübte Druck ist, läſst sich in folgender Weise ermitteln:

***Versuch.** Wird eine 80—90 cm lange und etwa 4 mm weite Glasröhre, nachdem man sie ganz mit Qu. gefüllt und alle Luft daraus entfernt hat, mit dem Finger verschlossen und umgekehrt in ein mit Qu. gefülltes Gefäſs (Fig. 282) eingetaucht, so bleibt nach dem Wegheben des Fingers das Qu. 70—80 cm hoch in der Röhre stehen. Der Raum (ab) über dem Qu. in der Röhre ist

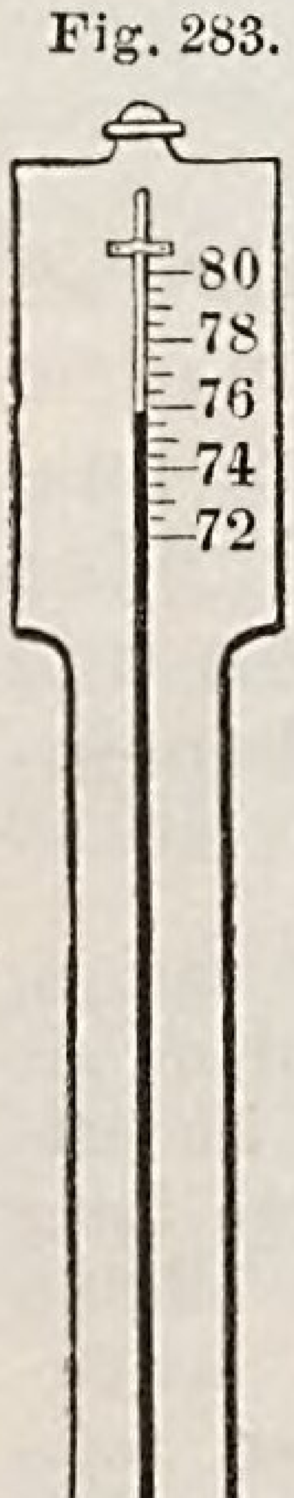
luftleer. Auch bei schräger Stellung der Röhre bleibt der senkrechte Abstand der Quecksilberkuppe in der Röhre vom Quecksilberspiegel im Gefäfs derselbe. — Da die Zimmerluft mit der freien Luft zusammenhängt, so ist es gleichgiltig, ob man den Versuch im Zimmer oder im Freien ausführt.

Die Höhe der Quecksilbersäule, welche von der Luft im Glgew. gehalten wird, ist an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten verschieden; am Meeresspiegel beträgt sie im Durchschnitt 76 cm. Nach dem Gesetze über den Bodendruck der Flüssigkeiten (§ 80) ergiebt sich hieraus für den Druck der Luft auf 1 qcm annähernd 1 kg (76 . 13,6 g = 1,033 g; warum?).

Der **Druck der Atmosphäre** ist am Meeresspiegel im Mittel gleich dem Drucke einer 76 cm hohen Quecksilbersäule (1 Atmosphäre = 1 kg auf 1 qcm.)

Nach Toricelli, der zum ersten Mal den Luftdruck durch eine Quecksilbersäule gemessen hat, nennt man den beschriebenen Versuch Toricellischen Versuch, und den über dem Qu. befindlichen luftleeren Raum Toricellische Leere.

Fig. 283.

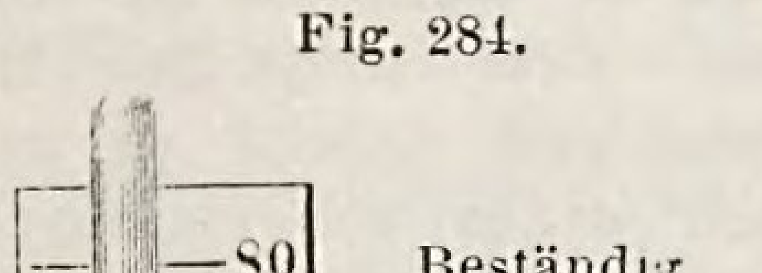


b. Um den Luftdruck bequem und genau messen zu können, werden besondere Instrumente, **Barometer,**[1]) angewandt. Diese bestehen entweder aus einer gegen 90 cm langen, *mit Quecksilber gefüllten Glasröhre* (Quecksilberbarometer) oder aus einem *luftleeren Metallgefäfse* (Aneroidbarometer).

a. Quecksilberbarometer.

1. Gefäfsbarometer. Die einfachste Einrichtung eines Barometers zeigt das in Fig. 283 dargestellte *Gefäfsbarometer.* Die Glasröhre desselben ist unten U förmig umgebogen, der kurze Schenkel gefäfsförmig erweitert und offen, der lange Schenkel hingegen geschlossen. Der Barometerstand, d. h. die Höhe der von der Luft im Gleichgewichte gehaltenen Qu.-Säule kann auf einer oben angebrachten Centimeterteilung abgelesen werden. Der Raum über dem Quecksilber im langen Schenkel ist luftleer. Neben der Centimeterteilung stehen gewöhnlich kurze Angaben über die Beschaffenheit des Wetters (Fig 284).

Fig. 284.



Das Wetter ändert sich erfahrungsgemäfs mit der Windrichtung, und diese steht im engsten Zusammenhange mit dem Luftdrucke. In den *nordwesteuropäischen Ländern* bringt der Südwind warmes Wetter, der Westwind meist Regen oder Schnee, der Nordwest- und Nordwind rauhes, kaltes Wetter, der Nordost- und Ostwind im

[1]) βαρυς (barys), schwer.

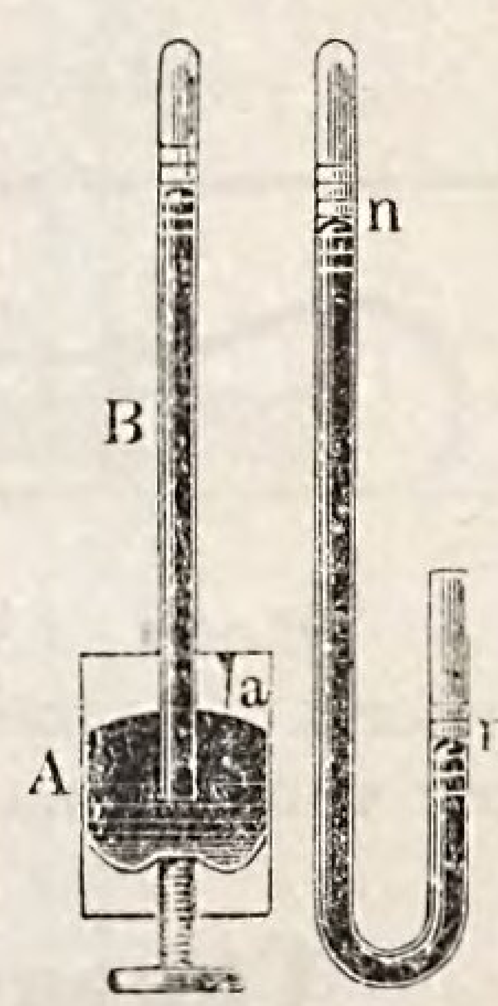
Sommer trockene Wärme und im Winter trockenen Frost. *In diesen Ländern ist der Barometerstand im allgemeinen bei SW.-Wind am niedrigsten, bei NO.-Wind am höchsten*, weil ersterer in der Regel feuchte und warme, letzterer dagegen trockene und kalte Luft bringt (feuchte Luft ist leichter als trockene, weil sie viel Wasserdampf enthält, welcher leichter als Luft ist). Da ein Wechsel der Luftströmung zuerst in den oberen Luftschichten eintritt, so kündigt *das Steigen des Barometers gewöhnlich eine Drehung des Windes über N. nach der östlichen Richtung, das Fallen eine Drehung über Süden nach der westlichen Richtung an:* **Doves Winddrehungsgesetz.** Barometerstand und Windrichtung bieten demnach wichtige Anhaltspunkte, nach denen das zu erwartende Wetter zu beurteilen ist.*)

Otto von Guericke, der ein *Wasserbarometer* erfand und dasselbe an seinem Hause in Magdeburg anbrachte, erkannte auch zuerst den Zusammenhang zwischen Luftdruck und Wetter; es erregte die Bewunderung seiner Zeitgenossen, als er (1660) auf Grund seiner Barometerbeobachtungen den Ausbruch eines gewaltigen Sturmes einige Tage vorhersagte.

Gefäfsbarometer geben den Barometerstand ungenau an, da bei ihnen die Änderungen, welche der Stand des Quecksilbers im Gefäfse erleidet, unberücksichtigt bleiben, und die Kapillarwirkungen (§ 54) wegen der ungleichen Weite der Schenkel sich nicht ausgleichen. Die hierdurch entstehenden Fehler sind jedoch so gering, dafs sie, wenn es sich nicht um wissenschaftliche Beobachtungen handelt, vernachlässigt werden können.

Bei dem zu genauen Messungen dienenden *Kapselbarometer von Fortin* (Fig. 285) ist die Röhre gerade und in eine mit Quecksilber gefüllte Kapsel eingetaucht, deren Boden aus Leder besteht und mittelst einer Schraube ein wenig gehoben und gesenkt werden kann. Dadurch kann die untere Qu.-Oberfläche zu jeder Ablesung so eingestellt werden, dafs sie die Spitze eines kleinen feststehenden Elfenbein- oder Stahlkegels berührt und also immer dieselbe Höhe hat.

Fig. 285. Fig. 286.



Wegen der durch die Kapillarität bewirkten Verkürzung der Quecksilber-Säule bedarf jede Ablesung noch einer Berichtigung. Zum genauen Ablesen mufs bei allen Barometern das Auge mit dem Gipfel der gewölbten Quecksilberkuppe in gleicher Höhe gehalten werden.

2. Heberbarometer. Sie bestehen aus einer U förmig gebogenen Röhre (Fig. 286), deren ungleichlange Schenkel, wenigstens soweit sich die Veränderungen im Qu.-Stande erstrecken, gleichen inneren Durchmesser haben. Der Stand des Qu. wird entweder an beiden Schenkeln auf einer feststehenden Skala oder nur am langen Schenkel abgelesen. In letzterem Falle kann die Skala längs der Röhre oder umgekehrt die Röhre längs der Skala mittelst einer unten angebrachten Schraube so verschoben werden, dafs jedesmal der Nullpunkt der Teilung mit dem unteren Qu.-Spiegel gleichhoch steht.

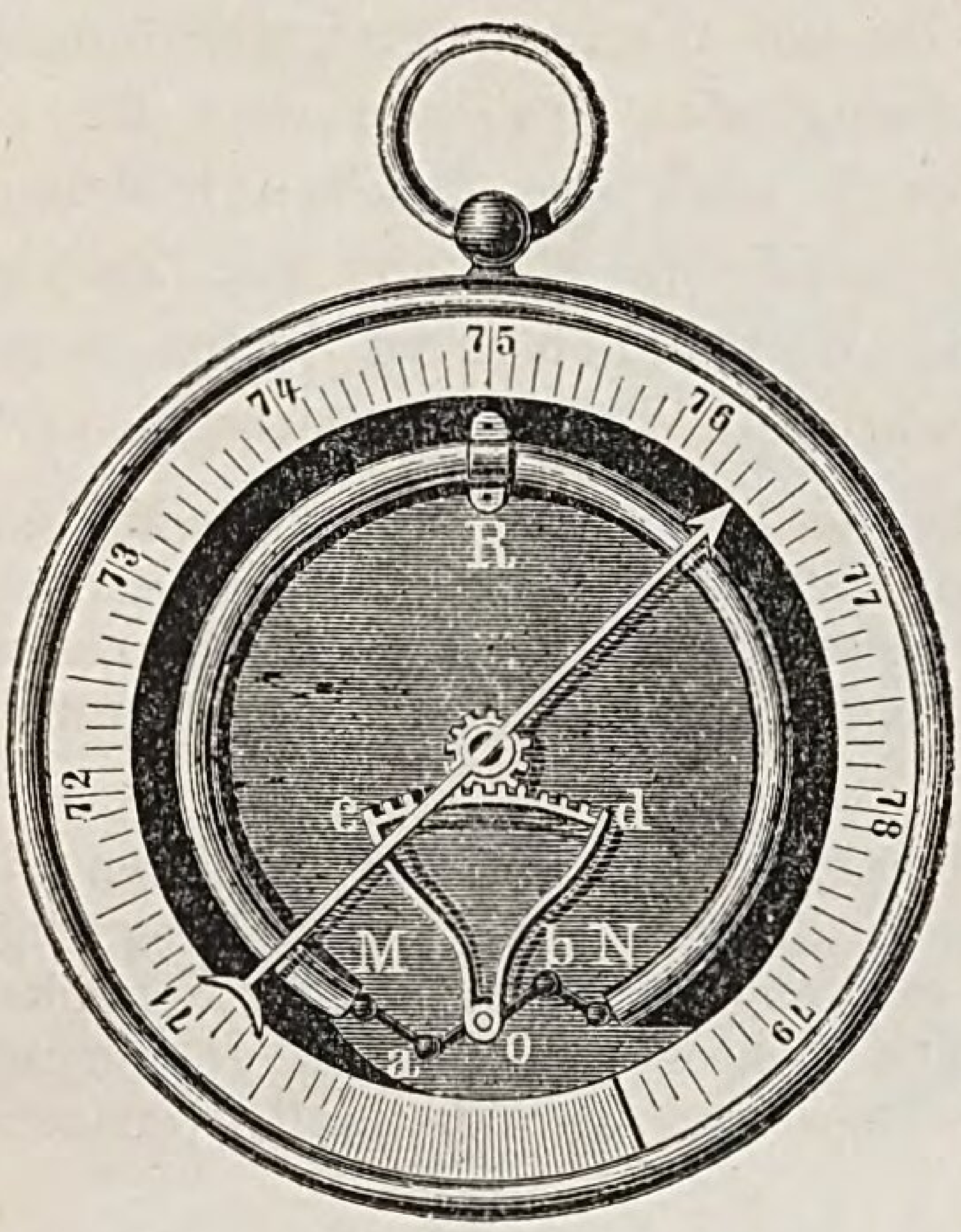
Da die Kapillarwirkungen wegen der gleichen Weite der Schenkel aufser acht gelassen werden können, so sind die Heberbarometer als die vollkommensten Barometer zu bezeichnen. Ihre Ablesungen bedürfen nur noch einer Berichtigung wegen des Einflusses der Temperatur.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 129 u. ff. über das Winddrehungsgesetz von Buys-Ballot, welches allgemeinere Giltigkeit hat als das Gesetz von Dove.

b. Aneroidbarometer.

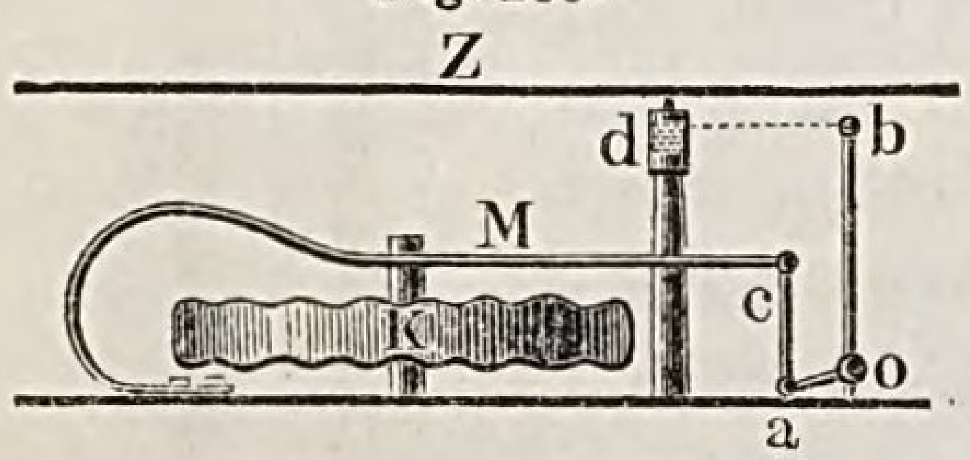
Das luftleer gemachte Gefäſs, aus welchem dieselben bestehen, ist entweder eine dünnwandige, kreisförmig gebogene *Metallröhre* (MRN, Fig. 287), welche etwa in ihrer Mitte (R) auf der Rückwand eines metallenen Gehäuses befestigt ist und bei zunehmendem Luftdrucke sich stärker krümmt, oder eine *Dose* (K, Fig. 288) mit dünnem wellenförmigen Deckel, der sich etwas nach innen biegt, wenn der Luftdruck zunimmt. Bei Abnahme des Luftdruckes führen Röhre wie Deckel vermöge ihrer Elasticität die entgegengesetzte Bewegung aus. Damit diese äuſserst geringen Bewegungen deutlich wahrgenommen werden können, werden sie durch ein l e i c h t e s H e b e l w e r k vergröſsert und auf einen Z e i g e r übertragen, der auf einer Kreisteilung die Stärke des Luftdruckes angiebt. Gewöhnlich sind dieser Teilung, wie beim Gefäſsbarometer, auch Angaben über das Wetter beigefügt.

Fig. 287.



In welcher Weise überträgt sich die Bewegung der Metallröhre (Fig. 287) auf den Zeiger? — Fig. 288 stellt die Teile eines *Metallbarometers mit luftleerer Dose* von der Seite gesehen dar. M ist ein mit dem Deckel der Dose K fest verbundener, elastischer Bügel, welcher den Winkelhebel aob mittelst des Verbindungsstabes ac um o dreht; b ist durch eine feine Kette mit dem drehbaren Cylinder d verbunden, der bei seiner Bewegung den Zeiger Z mitnimmt.

Fig. 288.



B e m. Aneroidbarometer sind für geringe Schwankungen des Luftdruckes äuſserst empfindlich; wegen der etwaigen Änderung der Elasticität des Metalles ist aber von Zeit zu Zeit ein Vergleich mit einem guten Quecksilberbarometer erforderlich.

Übungsstoff. 1. Welchen Luftdruck hat der menschliche K. auszuhalten, wenn dessen Oberfläche etwa $1\frac{1}{2}$ qm beträgt, und wie ist es zu erklären, daſs wir von der Wirkung dieses Druckes nichts empfinden (trotzdem derselbe z. B. das Gew. der Gliedmaſsen bei Bewegung derselben aufhebt)? — 2. Wie lang müſste die Röhre sein, wenn man zum Toricellischen Versuche W. statt Qu. benutzen wollte *(Guerickes Wasserbarometer)*? — 3. Wenn man ein Qu.-Barometer vorsichtig umkehrt, so soll das Qu. mit hellem Klange gegen das Ende der Röhre schlagen. Wie läſst sich hiernach die Güte des Barometers beurteilen? — 4. Die Röhre eines guten Qu.-Barometers soll wegen der Kapillarwirkungen mindestens 5 mm weit sein. Welcher Art sind die Kapillarwirkungen, und welche Ungenauigkeit müssen sie beim Gefäſsbarometer zur Folge haben? — 5. Wodurch wird beim Toricellischen Kapselbarometer der andere Mangel des Gefäſsbarometers beseitigt? — 6. Warum sind Heberbarometer frei von diesen Mängeln? — 7. Um wv. ist das Qu. im kurzen Schenkel eines Heberbarometers gefallen, wenn es im langen Schenkel 5 mm gestiegen ist? — 8. Um wv. hat in diesem Falle der Barometerstand sich geändert? — 9. Um wv. ist das Qu. im Gefäſse eines Stubenbarometers gefallen, wenn es in der Röhre um 5 mm gestiegen ist und der Durchmesser des unteren Qu.-Spiegels das 10fache von der Weite der Röhre beträgt? — 10. Um wv. würde es gefallen sein, wenn das

[1]) ἀνηρός (a-n e r ó s), nicht feucht.

Gefäfs a. 5-, b. 15-, c. 20 mal so weit wäre als die Röhre? — **11.** Wv. betrüge in diesen Fällen die wirkliche Änderung des Barometerstandes? — **12.** Wv. ferner, wenn das Qu. um 5 mm gefallen wäre? — **13.** Infolge der Kapillarität beträgt die Verkürzung einer Qu.-Säule in einer Glasröhre von 2 mm Weite etwa 4,6 mm, bei 5 mm Weite nur 1,5 mm. Wie grofs würde demnach der wirkliche Luftdruck sein, wenn man an einem Gefäfsbarometer einen Druck von 76 cm abgelesen hätte und die Röhre a. 2 mm, b. 5 mm weit wäre? — **14.** Der Deckel der Dose eines Aneroidbarometers sei 40 qcm grofs. Um wv. Gramm wird der Druck auf den Deckel gröfser oder kleiner, wenn der Barometerstand a. 1 cm zu-, b. 1 cm abnimmt?

§ 85. Beziehung zwischen Druck und Volumen eingeschlossener Luft (Mariottesches Gesetz). Manometer.

1. Nachweis für verdichtete Luft. *Versuch a. Giefst man in eine U förmig gebogene Glasröhre, deren kurzer Schenkel geschlossen ist (Fig. 289), zunächst nur soviel Qu., dafs dieses in beiden Schenkeln gleichhoch steht, so erleiden beide Qu.-Oberflächen einen Druck von 1 Atmosphäre. Wird darauf noch soviel Qu. nachgegossen, dafs es im langen Schenkel um den Barometerstand höher steht als im kurzen Schenkel, so ist

1) der Raum der abgesperrten Luft nur noch halb so grofs,
2) der Druck, welchen sie erleidet, dagegen doppelt so grofs als vorhin.

Fig. 289.

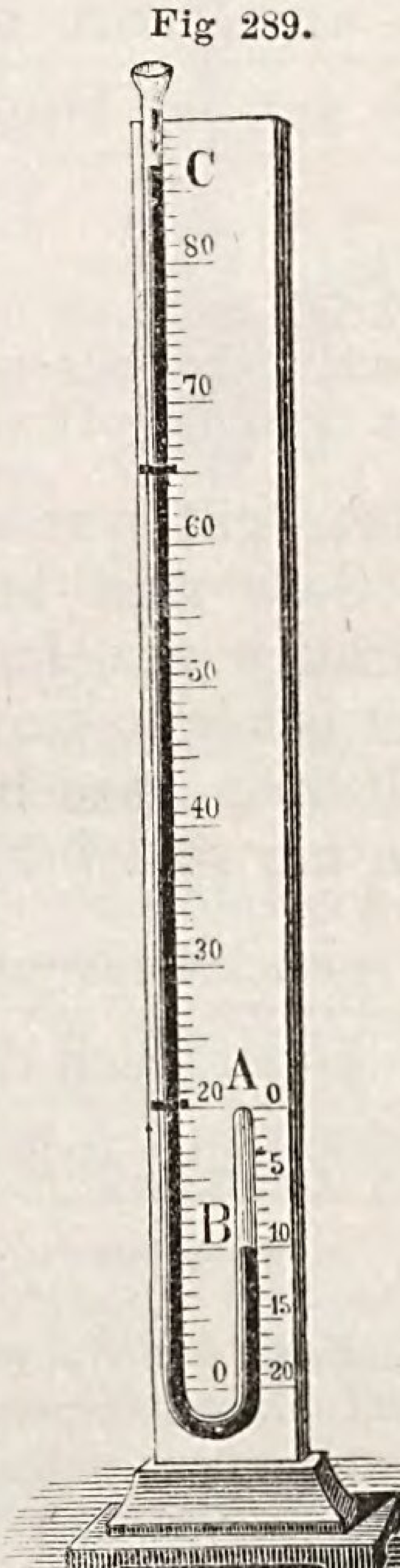
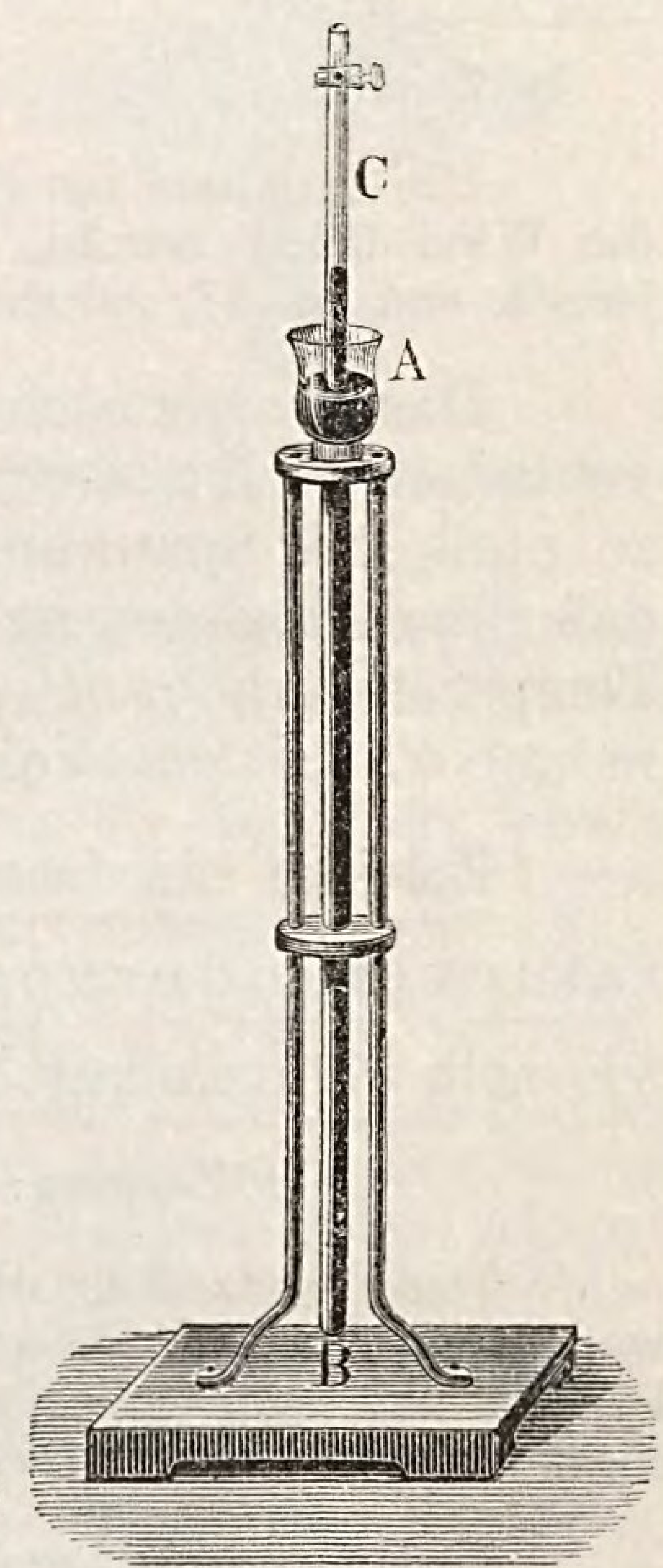


Fig. 290.



Da Druck und Gegendruck gleich sein müssen, so mufs nach der Verdoppelung des äufseren Druckes auch die Spannung der eingeschlossenen Luft das Doppelte der ursprünglichen Spannung betragen. Betrüge der äufsere Druck das 3-, 4-, 5-... fache, so würde der Raum der eingeschlossenen Luft nur $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$... so grofs, die Spannung derselben dagegen 3-, 4-, 5-... mal so grofs sein als anfangs.

2. Nachweis für verdünnte Luft. Versuch b. Eine unten geschlossene und oben trichterförmig erweiterte Glasröhre von Barometerlänge (Fig. 290) sei mit Qu. gefüllt; in letzteres werde eine etwas längere und an beiden Enden offene, dünnere Glasröhre so tief eingetaucht, dafs der darin freibleibende Raum etwa 10 cm betrage. Verschliefst man darauf diese Röhre oben luftdicht und zieht sie dann langsam heraus, so dehnt sich die abgesperrte Luft aus, wobei der Abstand der beiden Qu.-Oberflächen sich in folgender Weise ändert:

1. Ist die Röhre so weit gehoben, dafs der 10 cm lange Luftraum sich auf das Doppelte, also auf 20 cm, vergröfsert hat, so stehen die

beiden Qu.-Oberflächen um die Hälfte des Barometerstandes voneinander ab. Der Druck, welchen die abgesperrte Luft erleidet, ist demnach nur noch $\frac{1}{2}$ Atmosphäre.

2. Hat die Luft sich auf das Dreifache, also auf 30 cm, ausgedehnt, so stehen die Qu.-Oberflächen um $\frac{2}{3}$ des Barometerstandes auseinander. Demnach beträgt der Überdruck der äufseren, also auch die Spannung der eingeschlossenen Luft nur noch $\frac{1}{3}$ Atmosphäre u. s. w.

Da Gase sich im allgemeinen gegen Druck ebenso verhalten wie atmosphärische Luft, so gilt das Gesetz:

Bei gleichbleibender Temperatur ändert sich der Rauminhalt (v) eines gasförmigen Körpers umgekehrt, die Dichte und Spannung (s) dagegen gerade so wie der äufsere Druck (d): **Mariottesches Gesetz.**

In Zeichen: $v : v_1 = d_1 : d$; $s : s_1 = d : d_1$.

Die Zunahme der Spannkraft der Luft bei Verdichtung derselben, worauf z. B. die Windbüchse beruht, war schon im Altertum bekannt; das obige Gesetz wurde jedoch erst im 17. Jahrhundert (von Boyle und Mariotte) aufgefunden.

Das Mariottesche Gesetz gilt nur so lange, als die Temperatur unverändert bleibt, denn da Gase sich beim Erwärmen stark ausdehnen, so mufs ihre Spannung merklich zunehmen, wenn man sie so einschliefst, dafs eine Ausdehnung nicht erfolgen kann. Da alle Gase sich bei gleicher Temperaturerhöhung gleichstark ausdehnen (für je 1° C Temperaturzunahme wächst das Volumen um $\frac{1}{273}$, § 115), so gilt noch folgendes Gesetz:

Erleidet ein Gas bei gleichbleibendem Rauminhalte eine Temperaturveränderung, so ändert sich die Spannung desselben ebenso, wie sein Rauminhalt bei gleichem äufseren Drucke sich ändern würde.

In Zeichen: $s : s_1 = v : v_1$.

Das Gesetz über die Zunahme der Spannkraft von Gasen mit der Temperatur wurde von Gay-Lussac (1802) durch Versuche nachgewiesen. Bei sehr starkem Drucke und sehr niedriger Temperatur zeigen indes die Gase erhebliche Abweichungen von dem **Mariotte-Gay-Lussacschen Gesetze.**

Instrumente, welche dazu dienen, die Spannung eingeschlossener Gase oder Dämpfe zu bestimmen, werden **Manometer**[1]) genannt. Sie sind so eingerichtet, dafs der Druck entweder durch den Stand einer Qu.-Säule *(Quecksilbermanometer,* Fig. 291) oder durch die Formveränderungen von sehr elastischem Metallblech *(Metallmanometer)* angezeigt wird.

Offene Quecksilbermanometer bestehen aus einer U förmig gebogenen Röhre, welche zum Teil mit Qu. gefüllt ist. Ihr Gebrauch beschränkt sich auf die Messung von geringem Drucke, da bei hohem Drucke die Länge der Röhre unbequem werden würde. (Anwendung von sogen. Sicherheitsröhren für sehr schwachen Druck.) — Für hohen Druck werden geschlossene Qu.- oder Metallmanometer angewandt.

[1]) μανός (manós), dünn.

Geschlossene Quecksilbermanometer (Fig. 291) bestehen aus einer oben geschlossenen Glasröhre, in welcher Luft durch Qu. abgesperrt ist. Die Skala ist nach dem Mariotteschen Gesetze eingerichtet.

Fig. 291.

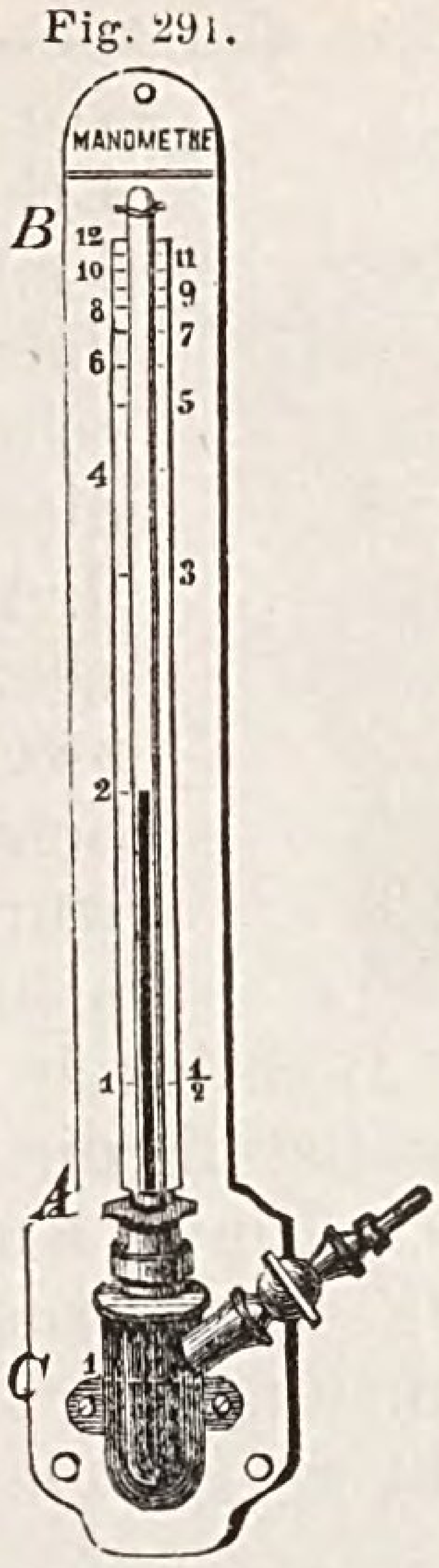
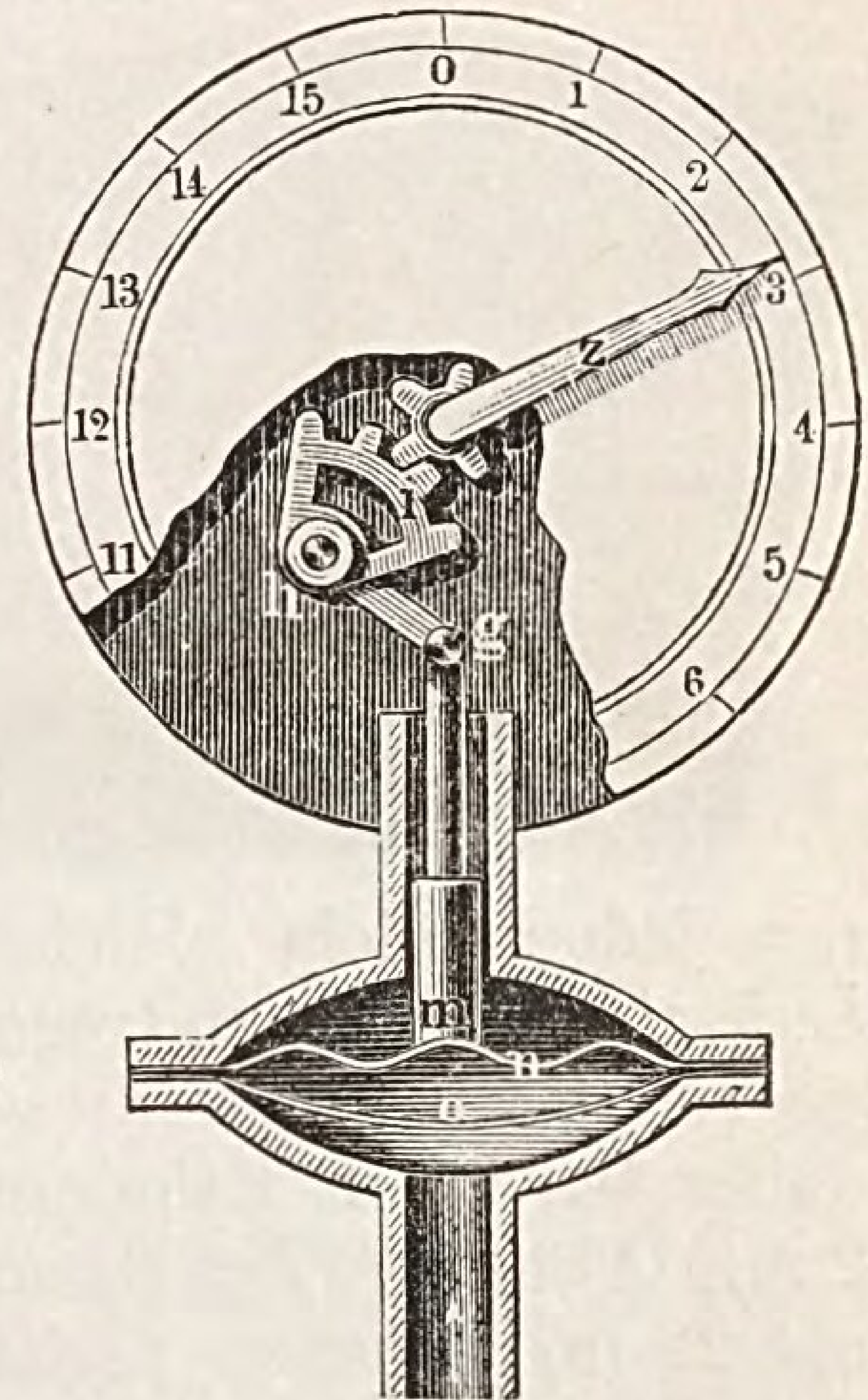


Fig. 292.



Bei dem in Fig. 292 dargestellten, zur Messung des Dampfdruckes bei Dampfmaschinen häufig angewandten Metallmanometer übt der Dampf auf eine dünne, wellenförmig gebogene Stahlplatte (n), welche in einen linsenförmig erweiterten Raum der Dampfröhre (A) eingeschaltet ist, einen Druck aus. Um die geringen Bewegungen der Platte deutlich sichtbar zu machen, läſst man letztere durch ein Stäbchen (m) auf einen Winkelhebel (ghi) einwirken, dessen einer Arm mit einem Zahnbogen versehen ist. Letzterer dreht einen Zeiger (Z), der auf einer Kreisteilung die Spannung angiebt. Das unter der Stahlplatte angebrachte Kautschukblättchen (o) dient nur zum Schutze.

Eine sehr weit verbreitete Anwendung finden Manometer auch zum Messen des Luftdruckes in den Bierdruckapparaten, durch welche Bier aus den Kellern in die Schankräume gehoben wird.

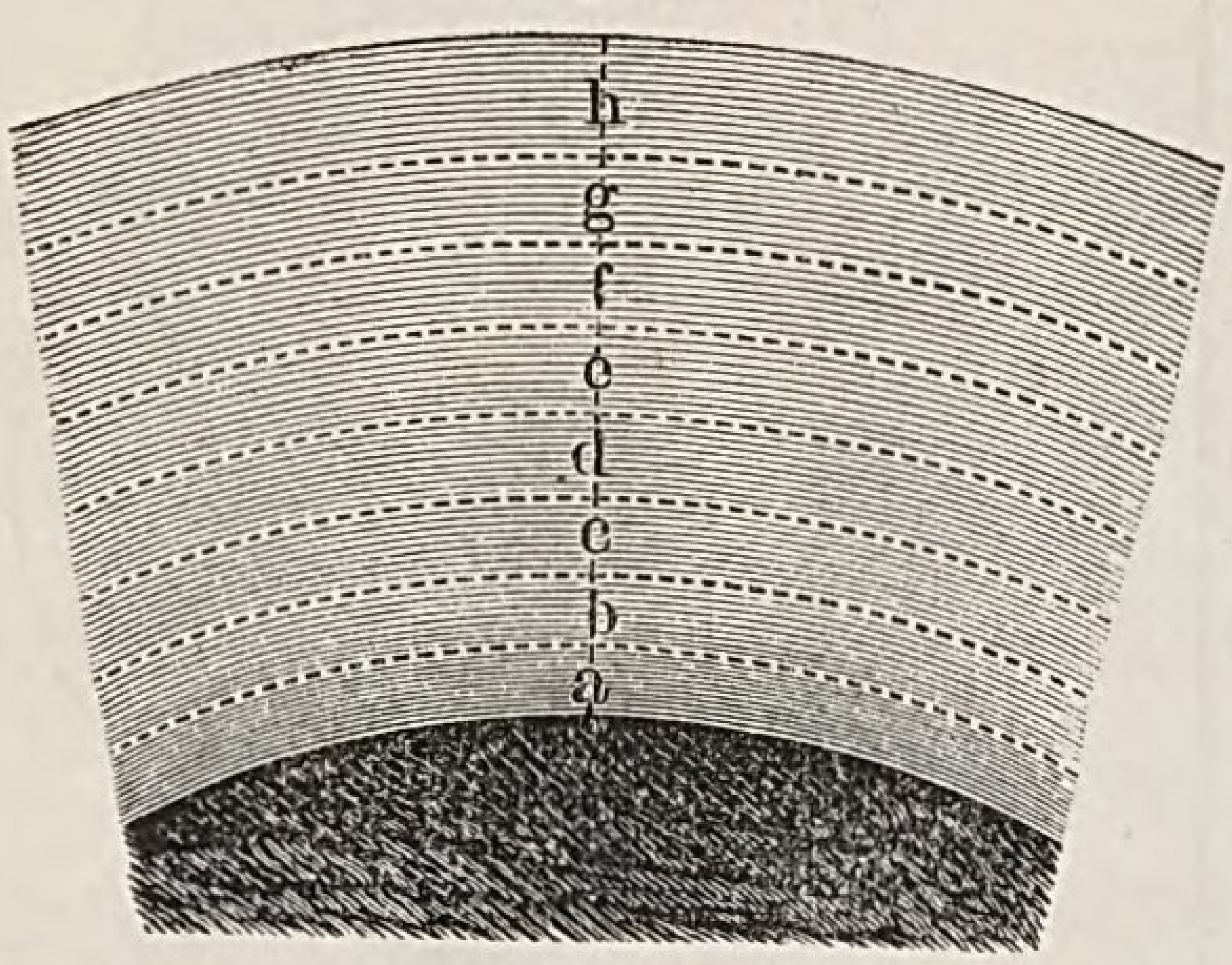
Übungsstoff. **1.** Um wv. müſste das Qu. im langen Schenkel (Fig. 289) höher stehen als im kurzen, wenn die abgesperrte Luft auf $\frac{1}{3}$ ihres ursprünglichen Rauminhaltes zusammengepreſst werden sollte, und der Barometerstand a. 75, b. 76, c. 77 cm betrüge? — **2.** Warum muſs bei solchen Versuchen die Kuppe des kurzen Schenkels besonders stark sein? — **3.** Was würde eintreten, wenn man die Temp. der eingeschlossenen Luft a. erhöhte, b. erniedrigte? — **4.** Welchen Raum würde die abgesperrte Luft einnehmen, wenn der Qu.-Stand im langen Schenkel nur $\frac{1}{2}$ Atm. betrüge? — **5.** Erkläre die Teilung des Luftmanometers (Fig. 291). — **6.** Die Verflüssigung von Wasserstoff ist durch eine Kälte von —140° C bei einem Drucke von 650 Atmosphären erreicht worden; Kohlensäure läſst sich bei 21,5° C durch einen Druck von ungefähr 60 Atmosphären verflüssigen. Welchen Druck erleidet hierbei jedes qcm der Gefäſswand? — **7.** Mit welchem Überdrucke wird der Kolben einer Dampfmaschine in Bewegung gesetzt, wenn die Dampfspannung 6 Atm. beträgt und die Dämpfe nach ihrer Arbeitsleistung in die Luft entweichen? — **8.** Eine Taucherglocke sei 10 m tief in W. eingesenkt. Der wievielte Teil derselben würde dann noch mit Luft erfüllt sein, wenn von oben keine Luft nachgepumpt würde? — **9.** Wie stark ist die Luft verdichtet, welche ein Taucher in 15 und 20 m Tiefe einatmet? Druck auf 1 qcm? — **10.** Wie hoch könnte der Strahl einer Feuerspritze aufsteigen, wenn die Luft im Windkessel a. auf die Hälfte, b. auf $\frac{1}{3}$ ihres Rauminhaltes zusammengepreſst wäre, und der Strahl beim Aufsteigen keine Widerstände zu überwinden hätte?

§ 86. Abnahme des Barometerstandes mit der Höhe.

Wenn man aus Meereshöhe in der Atmosphäre aufsteigt, so nimmt der Luftdruck mehr und mehr ab, und zwar um 1 mm, wenn die Steigung etwa 11 m (genau 10,52 m bei 0°, 11,36 m bei 20°) beträgt, bei einer abermaligen Erhebung von 11 m etwas weniger als 1 mm, überhaupt jedes folgende Mal um etwas weniger als das vorhergehende Mal, vorausgesetzt daſs man jedesmal um die gleiche Höhe steigt. Um bei jeder Steigung eine Abnahme von je 1 mm zu erhalten, muſs man also jedes

folgende Mal etwas höher steigen als vorher. Zur Erklärung stelle man sich die Atmosphäre aus zahlreichen Schichten zusammengesetzt vor (Fig. 293). Nimmt nun bei einer Erhebung um 11 m der Druck um 1 mm ab, so hat dies seinen Grund darin, dafs jetzt der Druck der untersten Luftschicht nicht mitwirkt und das Gewicht dieser Schicht dem Gewichte einer 1 mm dicken Qu.-Schicht gleich ist. Steigt man abermals um 11 m, so drückt auch die zweite Schicht nicht mit. Wäre nun diese Schicht ebenso dicht wie die erste, so würde der Druck wieder um 1 mm abnehmen müssen. Beide Schichten können jedoch nicht gleiche Dichtigkeit haben, da die untere Schicht eine Luftschicht mehr zu tragen hat als die zweite, also auch stärker zusammengedrückt wird, als diese. Die **Abnahme des Luftdruckes** mufs daher bei 22 m Erhebung etwas weniger betragen als 2 mm; oder: um 2 mm Abnahme des Barometerstandes zu erhalten, mufs man höher steigen als 22 m. Ebenso verhält es sich mit jeder folgenden Schicht in Bezug auf die vorhergehende.

Fig. 293.



Genaueres ergiebt sich unter Anwendung des Mariotteschen Gesetzes durch folgende Überlegung: Eine Luftsäule sei in parallele Schichten von gleicher, aber so geringer Dicke geteilt, dafs innerhalb jeder Schicht die Dichte als gleichmäfsig angesehen werden kann. Bezeichnet man dann die Gewichte der einzelnen Schichten mit p_1, p_2 u. s. w., das Gewicht sämtlicher Schichten mit q_1, das Gewicht aller Schichten mit Ausnahme der untersten mit q_2, mit Ausnahme der beiden untersten mit q_3 u. s. w., so ergiebt sich, da die Dichten, also auch die Gewichte der aufeinander folgenden Luftschichten mit den drückenden Kräften in gleichem Verhältnis stehen, die Proportion: $p_1 : p_2 = q_2 : q_3$, oder nach Umstellung der inneren Glieder: $p_1 : q_2 = p_2 : q_3$, also auch $p_1 + q_2 : q_2 = p_2 + q_3 : q_3$.

Nun ist $p_1 + q_2 = q_1$ (durch den Barometerstand am Grunde der Atm. gemessen), ferner

$p_2 + q_3 = q_2$ (durch den Barometerstand in der Höhe der untersten Schicht gemessen). Folglich

$q_1 : q_2 = q_2 : q_3$. Ebenso erhält man: $q_2 : q_3 = q_3 : q_4$, $q_3 : q_4 = q_4 : q_5$ u. s. w.

Je 3 aufeinander folgende Barometerstände stehen daher in stetiger Proportion. Sind die beiden unteren gemessen, so lassen sich demnach alle übrigen daraus berechnen.

Ist z. B. der Luftdruck an der Erdoberfläche **760** mm, in 11 m Höhe **759** mm, so ergiebt sich die Proportion: $760 : 759 = 759 : x$, also $x = \frac{759}{760} . 759$, d. h. der Barometerstand für die 2fache Höhe wird erhalten, wenn man den Barometerstand für die 1fache Höhe mit dem Quotienten $\frac{759}{760}$ multipliziert. Drückt man nun den Barometerstand für die 1fache Höhe in ähnlicher Weise aus, indem statt 759 das Produkt $\frac{759}{760} . 760$ setzt, so erhält man $x = \frac{759}{760} \times \frac{759}{760} . 760$ oder $(\frac{759}{760})^2 . 760$. Die Rechnung, nach obigen Proportionen weiter fortgesetzt, ergiebt die rechts stehende Tabelle (von unten nach oben zu lesen).

Arithm. Reihe.	Geom. Reihe.		
u. s. w.			
in d. **5**fachen Höhe	$(\frac{759}{760})^5 . 760$	„	(Berechnung.)
in d. **4**fachen Höhe	$(\frac{759}{760})^4 . 760$	„	(Berechnung.)
in d. **3**fachen Höhe	$(\frac{759}{760})^3 . 760$	„	(Berechnung.)
in d. **2**fachen Höhe	$(\frac{759}{760})^2 . 760$	„	(Berechnung.)
in d. 1fachen Höhe	$(\frac{759}{760})^1 . 760$	„	(Messung.)
an der Erdoberfläche . .	760	mm	(Messung.)

Barometerstände:

Es gilt mithin das Gesetz:

Die Barometerstände nehmen in geometrischer Reihe ab, wenn die Höhen in arithmetischer Reihe zunehmen.

Wie sich der Barometerstand für gegebene Höhen berechnen läſst, so lassen sich umgekehrt aus beobachteten Barometerständen auch die Höhen der Beobachtungsorte berechnen (Barometrische Höhenmessung); doch ist zu genauen Bestimmungen die Abnahme der Schwere nach dem Äquator zu, die Temperatur und Feuchtigkeit der Luft mit in Rechnung zu ziehen.

Die erste barometrische Höhenmessung wurde bald nach der Erfindung des Barometers auf Pascals Veranlassung in Südfrankreich ausgeführt.

Mittlere Barometerstände für verschiedene Höhen:

Auf d. Brocken . . .	1145 m Höhe	660 mm	Auf d. Montblanc .	4600 m Höhe	430 mm
„ „ St. Gotthard .	2380 „ „	567 „	„ „ Chimborasso	6300 „ „	340 „
„ „ Ätna	3230 „ „	510 „	„ „ Dhawalagiri	8200 „ „	270 „

Die Höhe der Atmosphäre schätzt man auf ungefähr 100 km.

Übungsstoff. 1. Welche Änderungen des Barometerstandes wird ein Luftschiffer während der Fahrt wahrnehmen? — 2. Inwiefern sind die Barometerbeobachtungen für den Luftschiffer besonders wichtig? — 3. Warum muſs bei den auf Barometern befindlichen Wetterangaben (Fig. 284) die Höhenlage des Ortes berücksichtigt werden? — 4. Wie sind die Barometerstände für Orte zu berechnen, welche 2-, 3-, 4-...mal 10,52 m hoch (über dem Meere) liegen? — 5. Erkläre, warum barometrische Höhenmessungen um so genauer werden, a. je ruhiger die Luft ist, b. je weniger die beiden Orte, deren Höhenunterschied ermittelt werden soll, in horizontaler Richtung auseinander liegen. — 6. Betrüge der Barometerstand an einem Orte 500 mm, so würde sich die Höhe nach der Gleichung $(\frac{759}{760})^x . 760 = 500$ unter gewissen Voraussetzungen berechnen lassen. a. Was bedeutet in dieser Gleichung das Zeichen x? b. Welches sind jene Voraussetzungen? — 7. Der Höhenunterschied zweier Orte, deren wagerechter Abstand gering ist (Fuſs und Gipfel eines Berges), läſst sich durch barometrische Messungen dadurch genau bestimmen, daſs man die Beobachtungen an beiden Orten gleichzeitig macht oder längere Zeit hindurch zahlreiche Beobachtungen anstellt. Grund?

§ 87. Luftpumpen. 1. Verdichtungspumpen.

Sie bestehen im wesentlichen aus einem hohlen Metallcylinder, dem *Stiefel,* in welchem ein *Kolben* auf- und abbewegt werden kann. Das untere Ende des Cylinders ist zum Anschrauben an das zu füllende *Gefäſs* mit einem Gewinde versehen und enthält ein *Ventil,* das sich nach auſsen öffnet. Je nachdem nun atm. Luft oder andere Gase verdichtet werden sollen, befindet sich seitlich oben am Cylinder eine Öffnung (Fig. 294), oder unten ein Ansatzrohr mit einem nach innen sich öffnenden Ventile (Fig. 295), durch welches das zu verdichtende Gas einströmt.

Fig. 294.

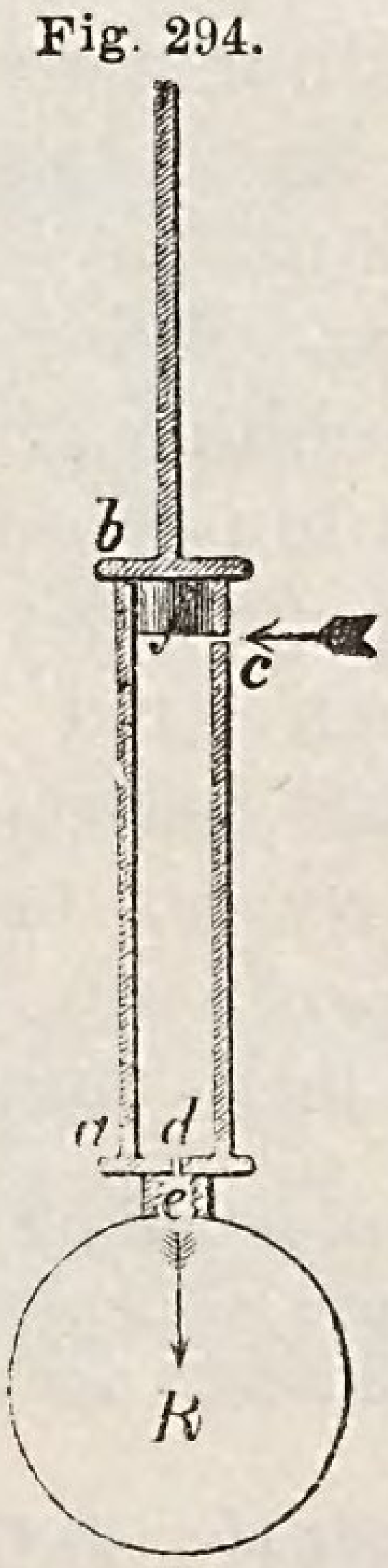
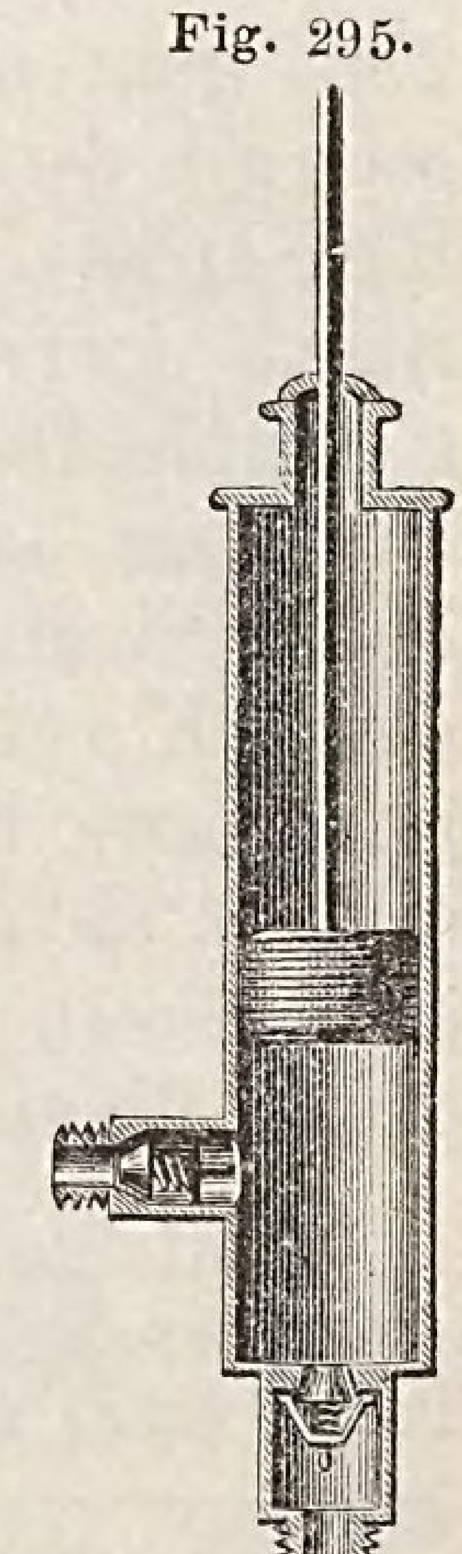


Fig. 295.



Eine nützliche Anwendung finden Luftverdichtungspumpen im praktischen Leben zur Zuführung frischer Luft bei der Benutzung von Taucherglocken, zur Herstellung kohlensäurereicher Getränke, sowie um Kohlensäure zu einer Flüssigkeit zu verdichten und

dadurch für den Versand (z. B. zur Verwendung beim Bierschank) geeignet zu machen. In einzelnen grofsen Städten (Berlin und London) werden durch Dampfmaschinen getriebene Luftpumpen dazu benutzt, um in kleinen Wagen, welche in unterirdischen Röhren laufen, Briefe und Packete zu befördern (Rohrpost). In neuester Zeit hat man verdichtete Luft auch zum Betriebe von Stein-Bohrmaschinen in der Weise benutzt, dafs man Stofsbohrer mit dem Kolben eines Cylinders in Verbindung brachte und die Kolbenbewegung durch abwechselnd eintretende Druckluft bewirkte (Bohrung des Mont-Cenis- und Gotthard-Tunnels). Die Verwendung verdichteter Luft zur Kraftübertragung wird auch in der Weise ausgeführt (z. B. in Paris) dafs man den Werkstätten verdichtete Luft durch Röhrenleitungen (ähnlich wie bei der Leuchtgasleitung) zuführt, um allerlei Arbeitsmaschinen dadurch in Thätigkeit zu setzen und so dem Kleingewerbe eine den Dampf ersetzende Betriebskraft zu liefern (Poppsches Luftdruckverfahren). Allgemein bekannt ist die Verwendung verdichteter Luft beim Gebrauche von Windbüchsen.

2. Verdünnungspumpen. Zur Verdünnung der atmosphärischen Luft werden gewöhnlich Hahn- oder Ventil-Luftpumpen benutzt.

Die wesentlichen Teile einer **Hahn-Luftpumpe** (Fig. 296 und 297)

Fig. 296.

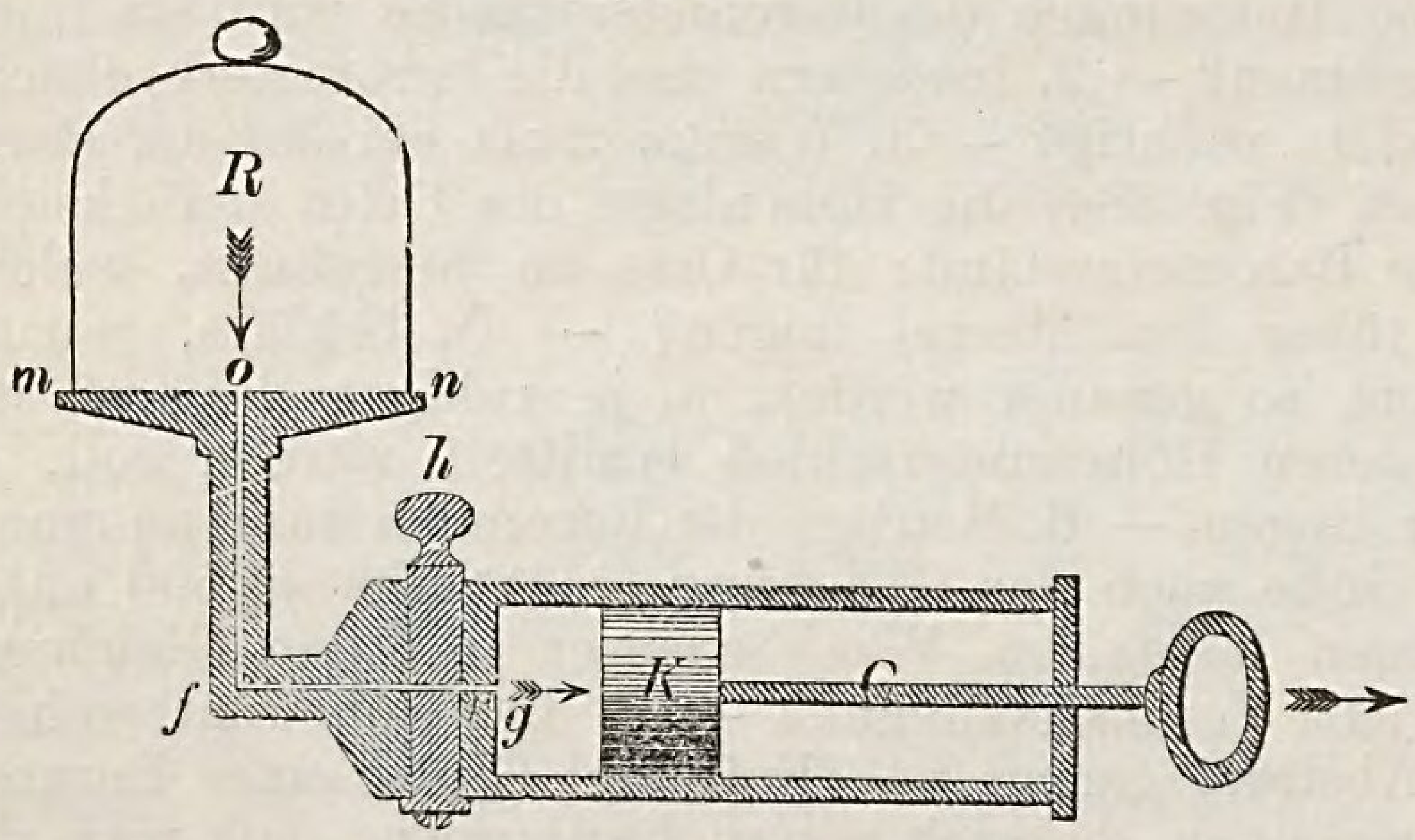
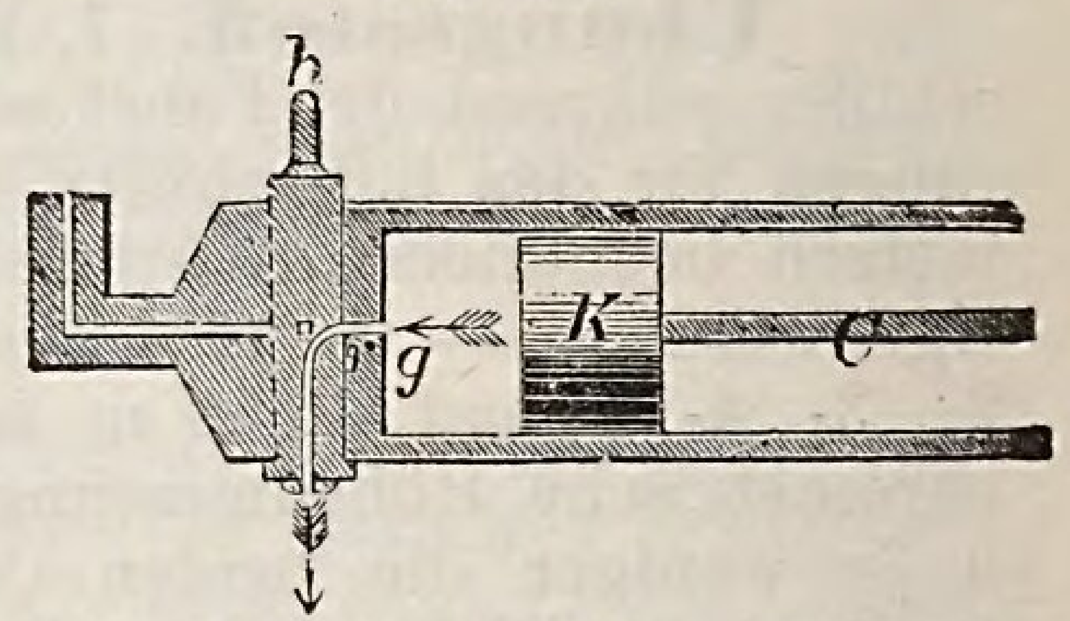


Fig. 297.



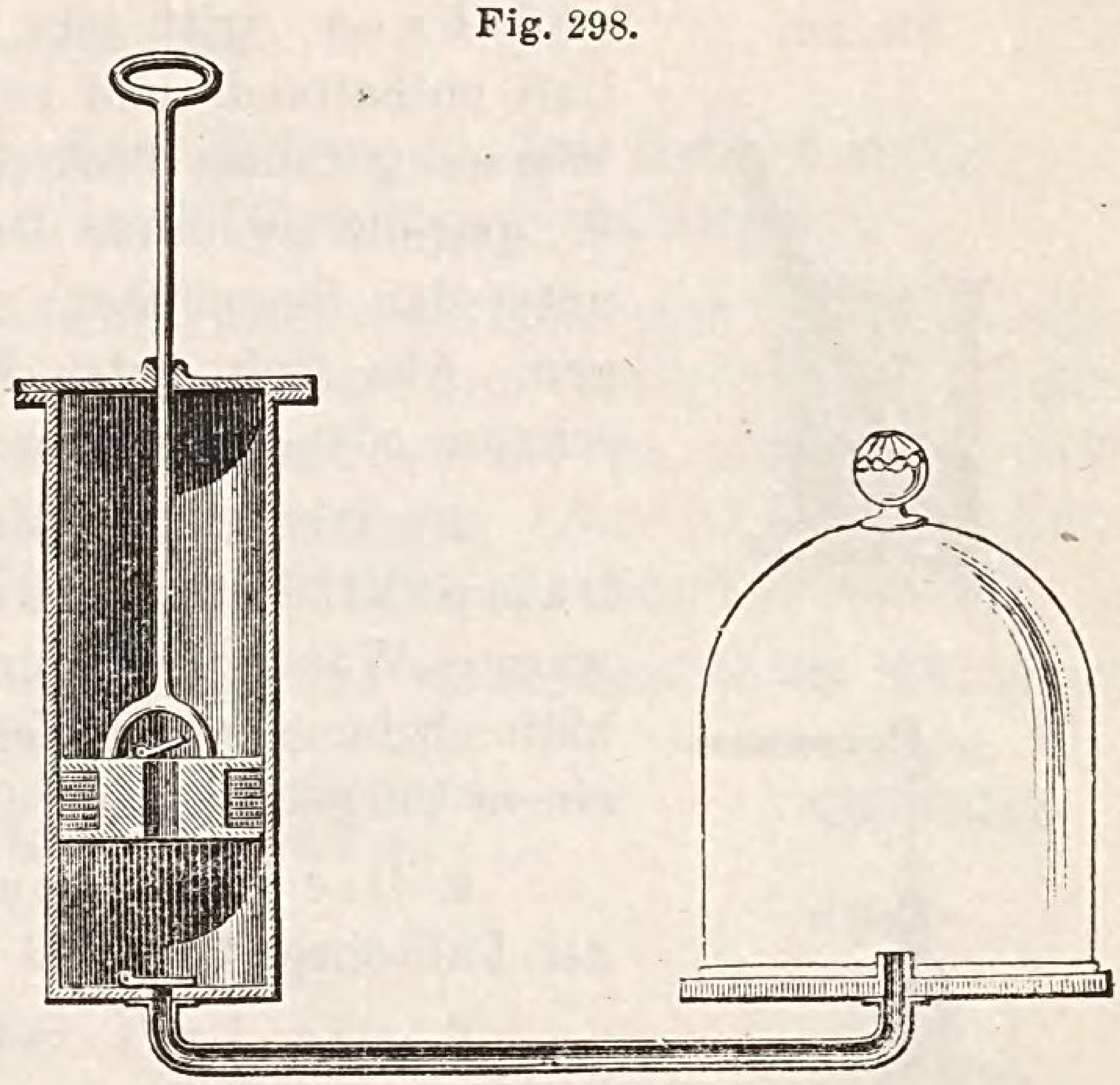
sind: 1) ein hohler Cylinder oder *Stiefel* mit *Kolben* (K), 2) das zu leerende Gefäfs, der *Recipient*[1]) (R), 3) die *Verbindungsröhre* (ofg) zwischen Stiefel und Recipient und 4) ein oder mehrere *Hähne* (h). — Bei der einfachsten Einrichtung enthält die Hahn-Luftpumpe nur einen Hahn, welcher im Verbindungsrohre dicht unter dem Stiefel angebracht und zweifach durchbohrt ist. Die eine geradlinige Durchbohrung (Fig. 296) geht mitten quer durch den Hahn und verbindet beim Aufgange des Kolbens den Innenraum des Stiefels mit dem des Recipienten; die andere rechtwinklige Durchbohrung (Fig. 297) führt nach aufsen und ist mit ihrem kurzen Schenkel gegen die quer durchgehende Durchbohrung gerichtet, ohne diese zu erreichen. Diese Durchbohrung hat einen doppelten Zweck, nämlich 1) während des Pumpens beim Niedergange des Kolbens eine offene Verbindung zwischen dem Kolben und der äufseren Luft herzustellen, damit die ausgepumpte Luft entweichen kann, 2) nach dem Pumpen, wenn der Recipient sich wieder mit Luft füllen soll, den Recipienten mit der äufseren Luft zu verbinden. Bei jedem Auf- und Niedergange des Kolbens mufs demnach der Hahn um 90^0 gedreht werden.

Als Recipient dient gewöhnlich eine Glasglocke, welche auf eine starke, genau eben geschliffene Glasplatte gestellt wird. Die letztere ist auf einen metallenen Teller (mn) gekittet, der bei o durchbohrt ist.

[1]) recipĕre, aufnehmen.

Bei der **Ventilluftpumpe** (Fig. 298) sind die Hähne durch 2 Ventile ersetzt, welche sich wie die Ventile einer Saugpumpe öffnen und schliefsen.

Fig. 298.



Selbst bei der vollkommensten Einrichtung einer Luftpumpe läfst sich die Luft kaum stärker als bis $\frac{1}{1000}$ verdünnen. Die Ursache hiervon ist namentlich der sogen. schädliche Raum, d. h. der Raum, welcher zwischen der inneren Kolbenfläche und dem Hahn oder Ventil freibleibt, wenn der Kolben seine tiefste Stellung einnimmt. Die in diesen Raum von aufsen eindringende Luft breitet sich bei jedem Kolbenzuge im Stiefel aus. — Bei der Ventilluftpumpe vermag die verdünnte Luft schliefslich das Bodenventil nicht mehr zu heben.

Die erste Luftpumpe, welche (um 1650) von Otto von Guericke erfunden wurde, war eine Ventilluftpumpe; Guericke suchte zuerst einen luftleeren Raum dadurch zu erhalten, dafs er mittelst einer Wasserpumpe ein mit Wasser gefülltes Fafs entleerte, welches er nachher durch eine kupferne Hohlkugel ersetzte. Er erfand fast alle Versuche, welche jetzt noch mit der Luftpumpe angestellt werden. — Um die Luft stärker zu verdünnen, als dies mit Hahn- oder Ventilluftpumpen möglich ist, wendet man die in neuerer Zeit erfundenen **Quecksilberluftpumpen** an. Bei denselben wird durch Bewegung von Quecksilber in zwei durch einen Gummischlauch verbundenen und mit Sperrhähnen versehenen Glasröhren eine Torricellische Leere erzeugt. Weit bequemer zu handhaben sind die **Wasserluftpumpen**; dieselben beruhen auf der Saugwirkung, welche schnell abfliefsendes Wasser hervorbringt (vgl. § 19: Zerstäubungsapparat).

Versuche mit der Luftpumpe.

a. Der Druck der Luft. Der Recipient haftet nach einigen Kolbenzügen fest am Teller. Ein auf einem Ringe von Glas oder Messing (Fig. 299) befestigtes Blatt Pergamentpapier oder Tierblase wird nach mehreren Kolbenzügen durch den Druck der äufseren Luft stark nach innen gebogen. Quecksilber wird durch Holz geprefst *(Quecksilberregen.)*

Fig. 299.

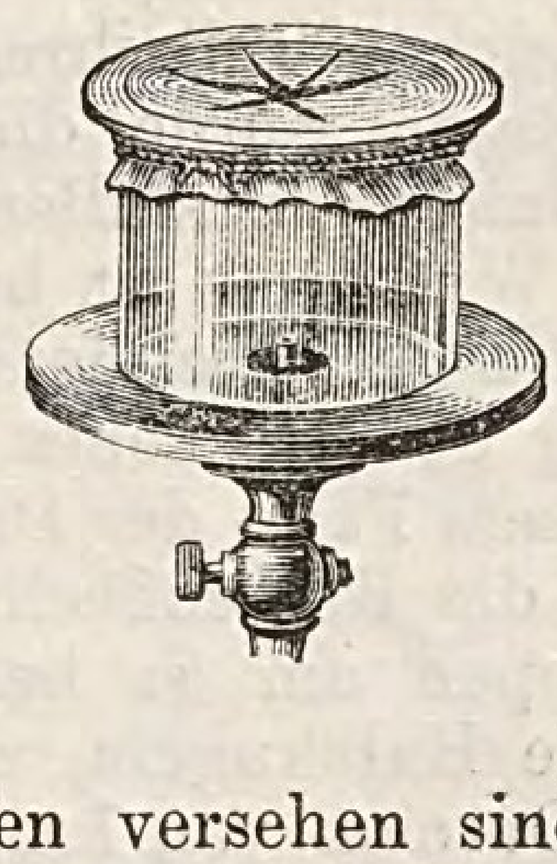
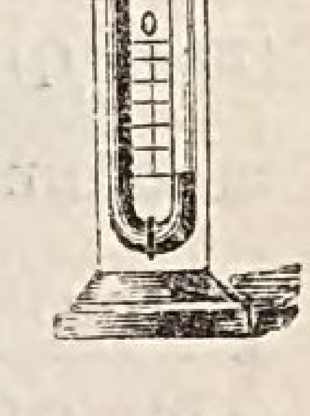


Fig. 300.



Am auffälligsten tritt die Gröfse des Luftdruckes hervor bei Benutzung der sogen. Magdeburger Halbkugeln, hohler Metallhalbkugeln, welche genau aufeinander passen und mit Handgriffen versehen sind (Fig. 300).

Fig. 301.



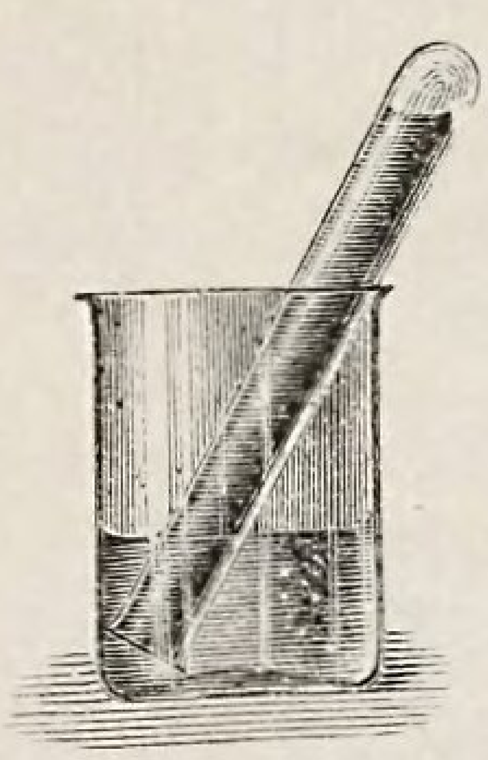
Guericke benutzte derartige Halbkugeln, um auf dem Reichstage zu Regensburg 1654 dem Kaiser Ferdinand sowie den übrigen versammelten Herren einen Beweis für den Druck der Luft und zugleich eine Vorstellung von der Gröfse desselben zu geben. 16 Pferde vermochten die beiden Halbkugeln von beinahe 60 cm Durchmesser nicht auseinander zu reifsen.

b. Um den Grad der Verdünnung der Luft zu bestimmen, stellt man eine sogen. Barometerprobe (Fig. 301), d. h. ein abgekürztes Barometer,

unter den Recipienten. Mit einer guten Luftpumpe mufs sich die Luft bis auf 1 mm Druck verdünnen lassen.†)

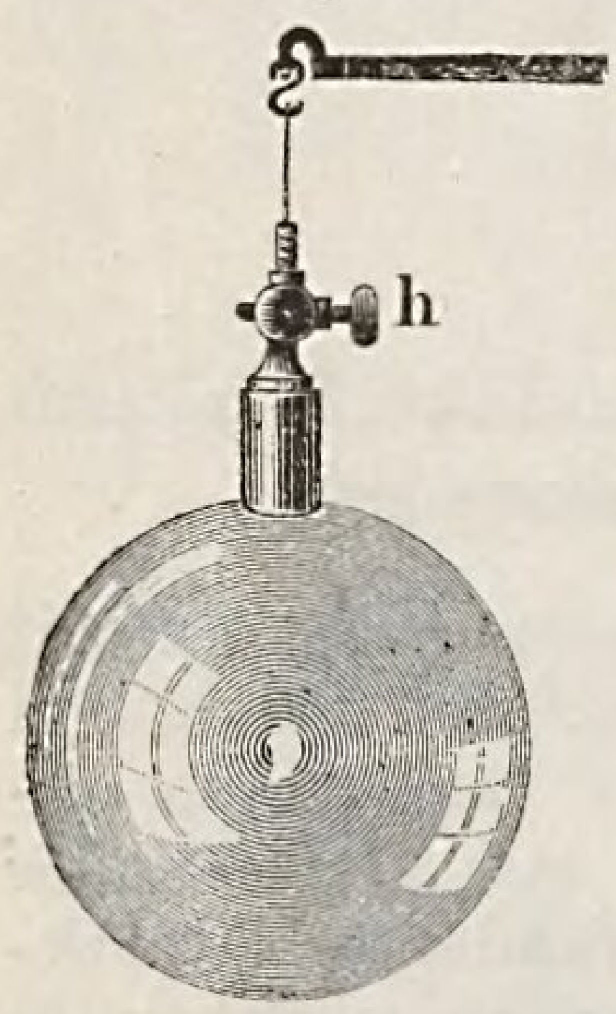
c. In wie hohem Grade die Luft das Bestreben hat, sich auszudehnen, tritt sehr deutlich hervor, wenn man eine etwas Luft enthaltende und zugebundene Blase oder ein fast ganz mit Wasser gefülltes Probiergläschen (Fig. 302), das umgekehrt in W. gestellt ist, unter den Recipienten bringt. — Der Strahl eines unter den Recipienten gestellten Heronsballes beginnt zu springen. Aus Holz unter Wasser steigen Luftblasen auf. Seifenschaum oder ein welker Apfel bläht sich auf u. s. w.

Fig. 302.



d. Die Luft setzt der Verdunstung und der Dampfbildung einen Widerstand entgegen. Lauwarmes Wasser kocht unter dem Recipienten. Die Verdunstungskälte beim raschen Verdampfen von Äther bringt Wasser in einem Uhrgläschen zum Gefrieren (vgl. Wärmelehre §§ 118 u. 120).

Fig. 303.



e. Die Luft hemmt fallende Körper. Versuch mit der Fallröhre (§§ 6 und 73).

f. Die Luft ist notwendig zur Schallleitung (§ 90), zum Brennen und Atmen (ein Licht erlöscht).

g. Das Gewicht der Luft läfst sich annähernd bestimmen, indem man die in einem Glasballon (Fig. 303) enthaltene Luft so stark als möglich verdünnt und dann das Gewicht des luftleer gemachten Ballons von dem Gewichte des mit Luft erfüllten Ballons subtrahiert. Genaue Wägungen ergeben, dafs *1 Liter atmosphärische Luft von 0⁰ und 760 mm Druck 1,293 g wiegt.*

Übungsstoff. 1. In welcher Weise kann eine Hahnluftpumpe zum Verdichten der Luft benutzt werden? — 2. Erkläre die Erschn. der oben (unter c) angeführten Versuche. — 3. Bei dem durch Fig. 302 dargestellten Versuche steigen aus dem W. zahlreiche Bläschen auf. Wie erklärt sich diese Ersch.? — 4. Bei der Barometerprobe sei das Qu. so tief gesunken, dafs der Abstand beider Qu.-Oberflächen noch 1 cm betrage. Wie grofs ist dann der Druck der verdünnten Luft auf 1 qcm und welchen Teil ihrer ursprünglichen Dichtigkeit hat die Luft erreicht? — 5. Welchen Raum würde die unter dem Recipienten anfangs enthaltene Luft bei solcher Verdünnung ausfüllen, wenn der Innenraum des Recipienten 2000 ccm betrüge? — 6. Wie grofs ist bei solcher Verdünnung der auf 1 qcm berechnete Überdruck, welchen der Recipient durch die äufsere Luft erleidet, wenn das Barometer bei Anstellung des Versuches einen Luftdruck von 770 mm anzeigt? — 7. Wie grofs würde in diesem Falle der Druck der Luft auf den Kolben sein, a. von innen, b. von aufsen, wenn die Kolbenfläche 20 qcm betrüge? — 8. Wie erklärt es sich demnach, dafs das Pumpen um so beschwerlicher wird, je stärker die Luft schon verdünnt ist? — 9. Die Halbkugeln, welche Otto v. Guericke (1654) in Regensburg benutzte, hatten einen Durchm. von 1 magdeburger Elle (etwa $57\frac{1}{2}$ cm). Es soll berechnet werden, wv. Kr. zum Auseinanderreifsen derselben erforderlich war, wobei völlige Luftleere

†) Beträgt der Innenraum des Recipienten m, der des Stiefels mit der Verbindungsröhre q ccm, so verteilen sich mit jedem Kolbenzuge m ccm Luft auf (m + q) ccm. Bei einem Barometerstande von 76 cm würde somit die Spannung der verdünnten Luft nach dem 1. Kolbenzuge $\frac{m}{m+q} . 76$, nach dem 2. Kolbenzuge $\left(\frac{m}{m+q}\right)^2 . 76 \ldots$, nach dem n. Kolbenzuge $\left(\frac{m}{m+q}\right)^n . 76$ cm betragen.

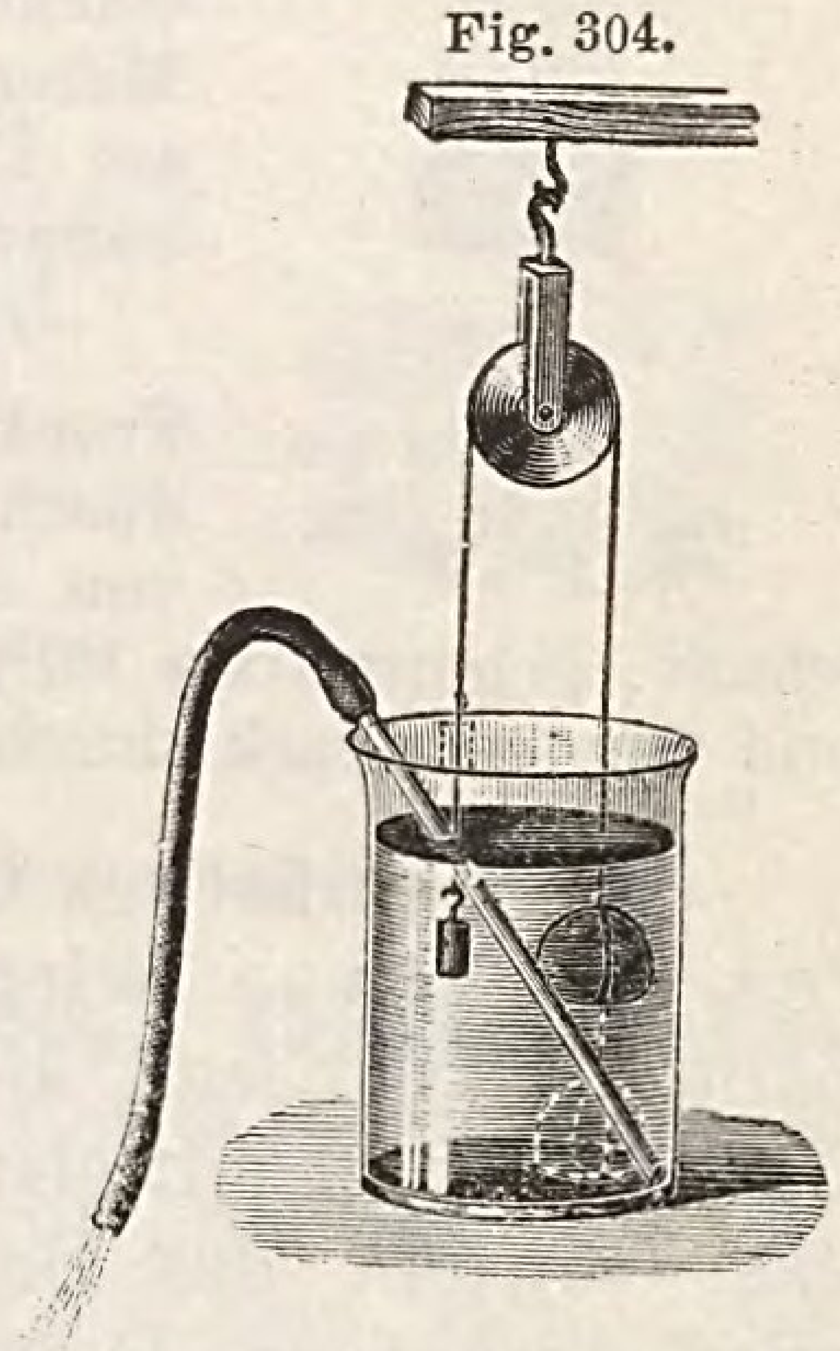
angenommen werden mag. (Man erhält die für jede Halbkugel erforderliche Kr., wenn man den Luftdruck für eine Kreisfläche von $57\frac{1}{2}$ cm Durchmesser berechnet.) — 10. Wie ist es zu erklären, dafs mehrere Pferde die Kugeln nicht auseinander zu reifsen vermochten, während doch ein Pferd eine Last von mehr als 1000 kg fortziehen kann?

§ 88. Gewichtsverlust der Körper in der Luft. Specifisches Gewicht luftförmiger Körper.

1. Gewichtsverlust. Da die luftförmigen Körper mit den Flüssigkeiten zwei wesentliche Eigenschaften (Schwere und vollkommen leichte Verschiebbarkeit der Teilchen) gemein haben, so ist zu erwarten, dafs auch das Gesetz des Auftriebes für dieselben gilt (Archimedisches Prinzip). Dies läfst sich mit Hilfe der Luftpumpe nachweisen.

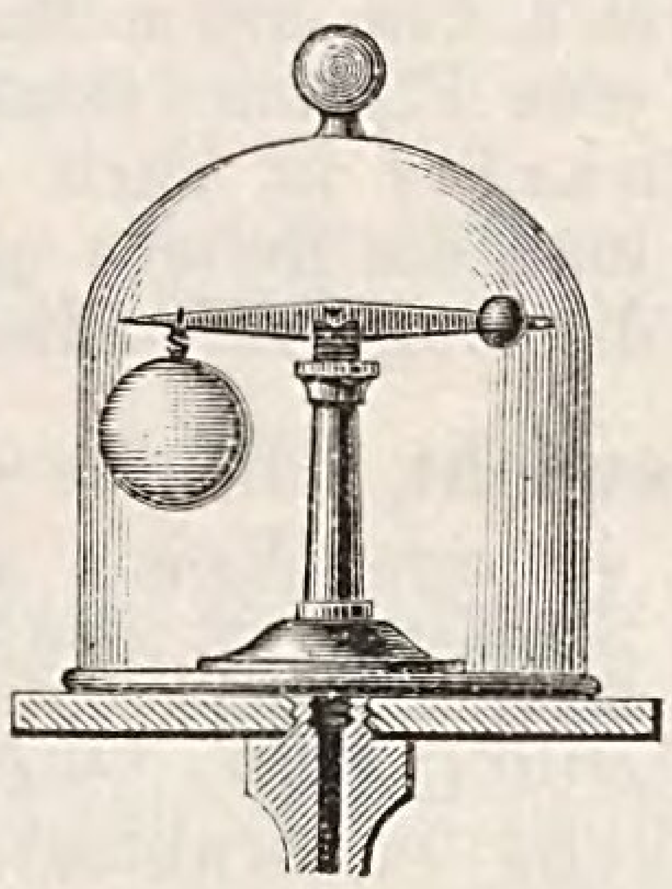
Erkläre zunächst die Ersch. des durch Fig. 304 veranschaulichten Versuches, bei welchem von 2 in Wasser untergetauchten Körpern (Stein und Gewichtstück von Blei), die sich anfangs das Gleichgewicht halten, der gröfsere das Übergewicht erlangt, wenn man das Wasser entfernt.

Fig. 304.



Versuch a. Bringt man einen Wagebalken, an dem ein kleiner Glasballon einem Metallstück das Gleichgewicht hält, unter den Recipienten der Luftpumpe (Fig. 305), so sinkt der Ballon nach einigen Kolbenzügen nieder. Läfst man dann Luft einströmen, so entsteht wieder Gleichgewicht. (Vergleiche die Ergebnisse der beiden Versuche miteinander.) — Genaue Wägungen bestätigen den Satz:

Fig. 305.

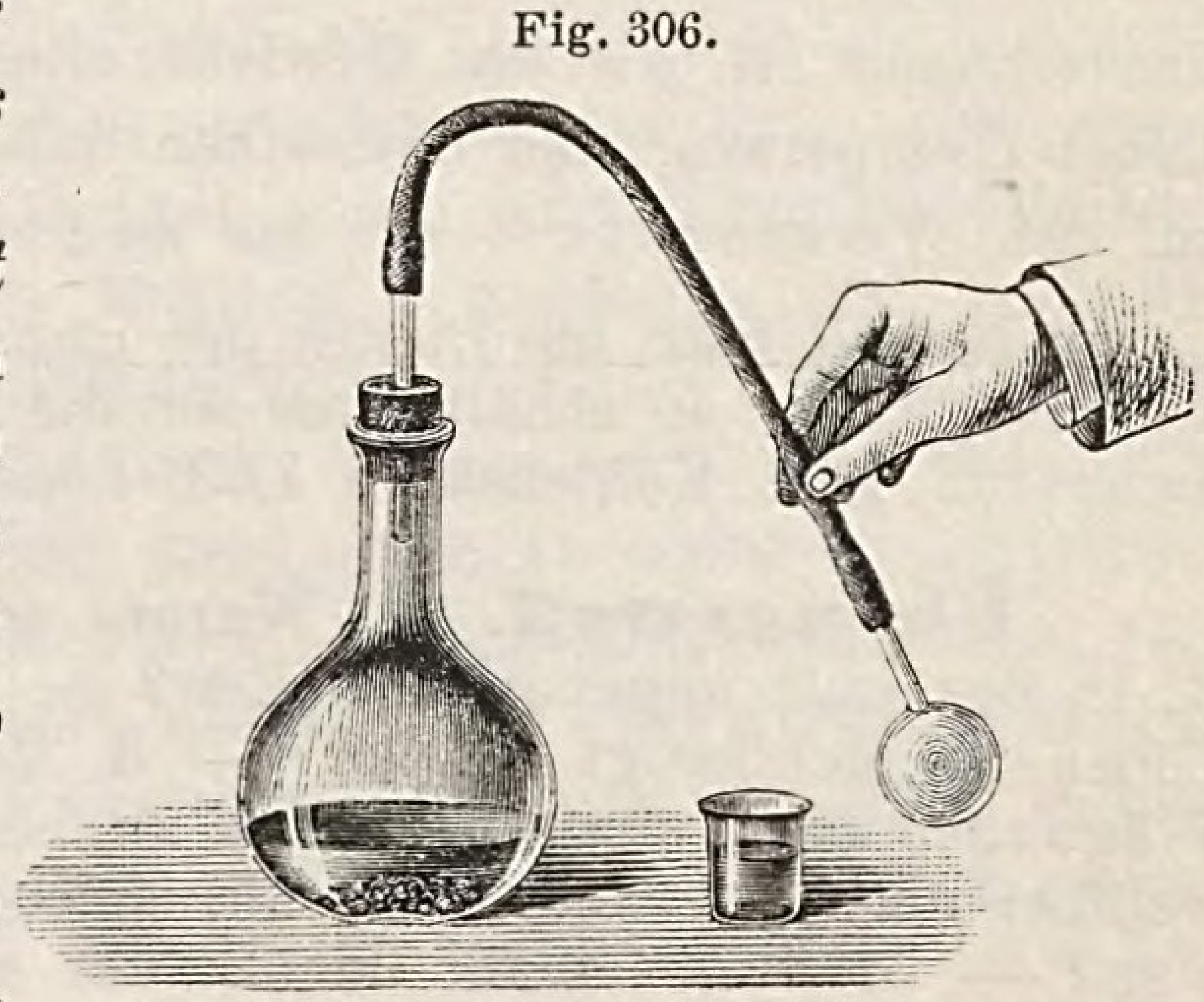


In der Luft verliert ein Körper von seinem Gewichte ebensoviel, als die Luft wiegt, welche er verdrängt.

Die gewöhnlichen Wäguugen ergeben hiernach streng genommen das wahre Gewicht der Körper nur dann, wenn die gewogenen Körper mit den Gewichtstücken gleichen Raum einnehmen.

Wie bei den Flüssigkeiten, so ist auch bei den luftförmigen Körpern der Gewichtsverlust das Mafs für die Gröfse des **Auftriebes**, d. h. *des Überdruckes, welchen ein Körper durch die ihn umgebende Luft nach oben erleidet.* Dem Auftrieb in der Luft überlassene Körper müssen daher auch, je nachdem ihr Gewicht kleiner, ebensogrofs oder gröfser ist als ihr Auftrieb, entweder aufsteigen, schweben oder sinken.

Fig. 306.

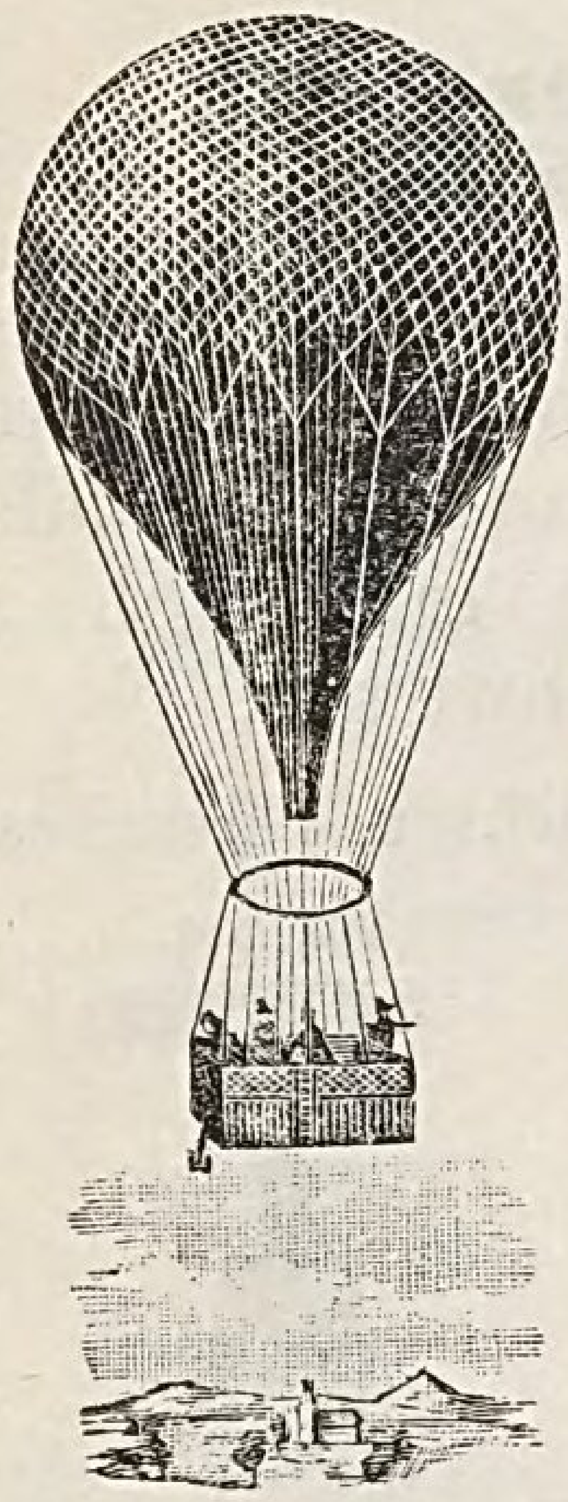


Versuch b. Füllt man Seifenblasen mit Wasserstoff oder Leuchtgas (Fig. 306),

so steigen dieselben in der Luft auf; mit Kohlensäure gefüllt sinken sie nieder. — Werden die Blasen mit Sauerstoff oder Stickstoff gefüllt, so schweben sie nahezu in der Luft.

Durch den Auftrieb der atm. Luft erklärt sich das Steigen eines mit Leuchtgas oder Wasserstoff gefüllten Ballons. Der Ballon (Fig. 307) besteht aus einer Hülle von Seidenzeug, das durch Kautschuk oder Firnis luftdicht gemacht ist. Zur Aufnahme der Luftfahrer, der Beobachtungs-Instrumente, des Ballastes u. s. w. wird unter dem Ballon eine leichte Gondel aufgehängt. Die Luftballons finden Anwendung zu wissenschaftlichen Beobachtungen (Abnahme des Luftdruckes, der Temperatur, Strömungen in den oberen Luftschichten, elektr. Zustand derselben); sehr ausgedehnt ist neuerdings auch die Verwendung derselben zu Kriegszwecken. Die gröfste bis jetzt erreichte Höhe beträgt gegen 11000 m.

Fig. 307.



Durch Versuche ist die Möglichkeit erwiesen, einen Ballon bei windstillem Wetter in beliebiger Weise zu lenken; bei einer stärkeren Luftströmung ist dies jedoch unmöglich, da weder das Material des Ballons die hinreichende Festigkeit besitzt, noch die zur Überwindung des Luftwiderstandes erforderliche Kraft vorhanden ist.

Im Jahre 1783 liefsen die Gebrüder Montgolfier in Frankreich den ersten Ballon steigen, welcher Luft enthielt, die durch eine Flamme erwärmt wurde. Kurze Zeit darauf wurde von Charles in Paris die Füllung mit Wasserstoffgas angewandt; gegenwärtig füllt man die Ballons meist mit Leuchtgas, welches billiger ist und weniger stark durch die Hülle diffundiert, als Wasserstoff.

2. Specifisches Gewicht. Die Bestimmung des spec. Gewichtes der Gase wird in der Weise ausgeführt, dafs man einen Glasballon sowohl leer, als auch mit dem betreffenden (vollkommen trockenen) Gase gefüllt, mittelst einer sehr empfindlichen Wage wägt und dann das Gewicht des Balkens subtrahiert. Aus den erhaltenen Gewichten wird darauf das Gewicht für 1 ccm in Grammen, also das spec. Gewicht, berechnet. Einen bestimmten brauchbaren Wert erhält man jedoch erst dadurch, dafs man die Dichtigkeit des Gases für einen Druck von 760 mm Qu. und eine Temperatur von 0° berechnet.

Bei 0° und mittlerem Barometerstande ist das spec. Gewicht von atm. Luft 0,001293, von Wasserstoff 0,0000896. Atm. Luft ist demnach ungefähr 770, Wasserstoff über 10 000 mal so leicht als Wasser.

Das spec. Gewicht (eigentlich die Dichte) der gasförmigen Körper drückt man zweckmäfsig dadurch aus, dafs man angiebt, wievielmal so grofs das Gewicht eines Gasvolumens ist, als das Gewicht einer gleichen Raummenge atm. Luft bei derselben Temperatur und demselben äufseren Drucke, oder man bezieht das Gewicht auf den Wasserstoff als das leichteste aller Gase.

Nimmt man die Dichte der atm. Luft bei 0° und mittlerem Barometerstande als Einheit an, so erhält man für die Dichte von Wasserstoff 0,07, Stickstoff 0,97, Sauerstoff 1,10, Kohlensäure 1,52, Leuchtgas ungefähr 0,4.

Übungsstoff. 1. Warum werden infolge des Auftriebes Wägungen der K. in der Luft ungenau ausfallen? — 2. Warum können diese Fehler im täglichen Leben vernachlässigt werden? — 3. Wie müfste man verfahren, um nach solchen Wägungen das genaue Gewicht zu bestimmen? — 4. Wie läfst sich die Kr., mit welcher ein Kautschukballon (Spielzeug der Kinder) aufsteigt, ohne Wage bestimmen? — 5. Wann mufs der Ballon aufhören zu steigen? — 6. Welchen Einflufs

mufs die Höhe auf den Rauminhalt desselben ausüben? — **7.** Wie würde sich eine mit Stickstoff gefüllte Seifenblase a. in einer Wasserstoff-, b. in einer Kohlensäure-Atm. verhalten? — **8.** Was wird eintreten, wenn 2 Gefäfse, von denen das eine mit Wasserstoff, das andere mit Kohlensäure gefüllt ist, längere Zeit offen stehen? (Kohlensäure in Kellern und Brunnenschächten; Dunsthöhlen.) — **9.** Der Glasballon (Fig. 305) sei 100 ccm, die Metallkugel 1 ccm grofs. Um wv. ist das Gew. des Ballons im luftleeren Recipienten gröfser als das der Metallkugel? — **10.** Wv. Liter von den oben genannten Gasen haben mit 1 Liter atm. Luft gleiches Gew.? — **11.** Gew. der Luft, welche ein Ballon von 500 cbm Rauminhalt am Boden verdrängt? (1 Liter Luft wiege 1,3 g.) — **12.** Wie grofs ist das Gew. des Ballons, wenn $\frac{19}{20}$ seines ganzen Rauminhaltes mit Leuchtgas gefüllt ist und die Hülle des Ballons 100 kg wiegt? Mit welcher Kr. wird ein solcher Ballon aufsteigen?

III. Abschnitt.

Die Lehre vom Schalle.

(Akustik.)

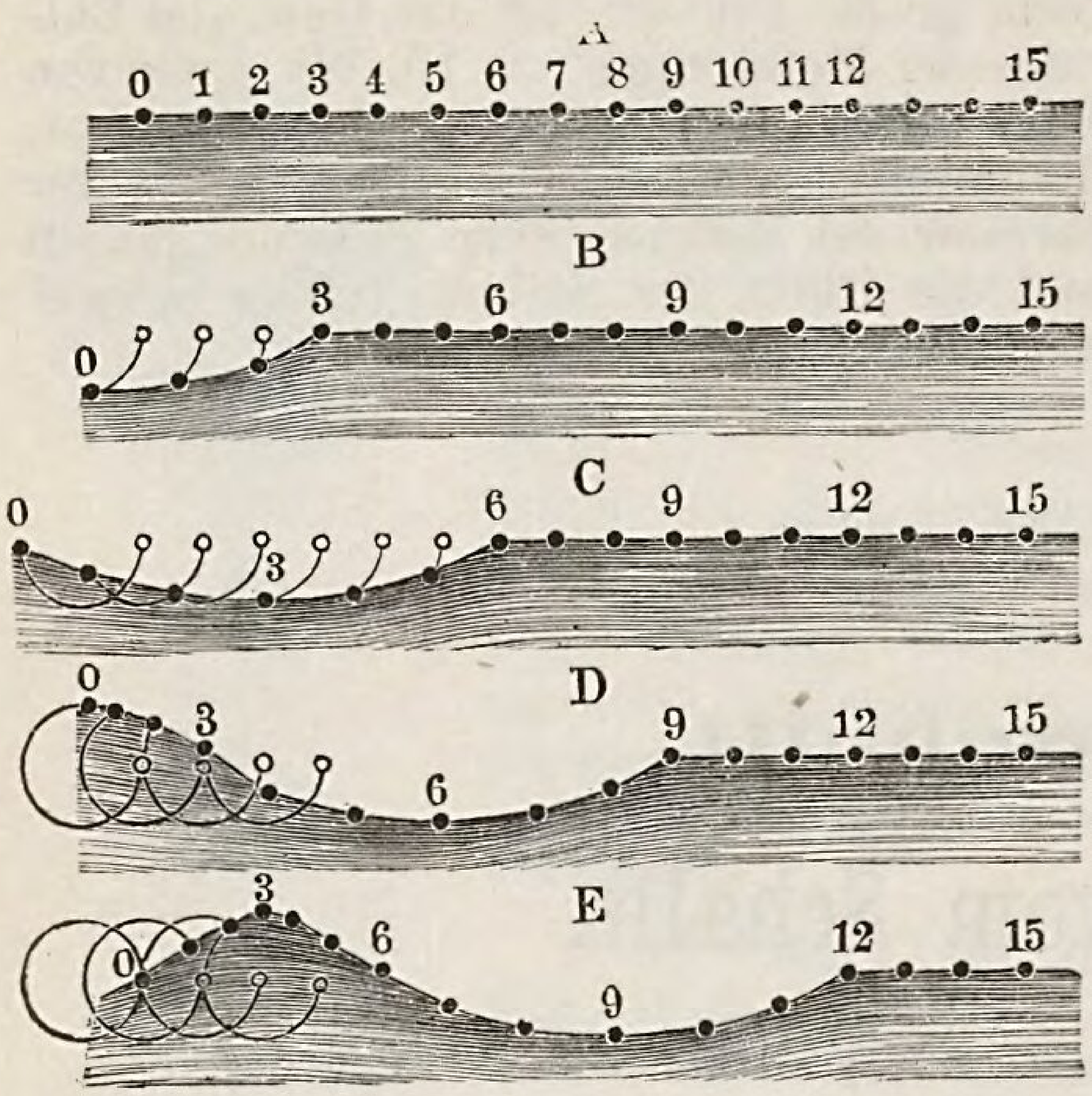
(I. Lehrstufe, §§ 22—24.)

§ 89a. Wellenbewegung flüssiger und fester (elastischer) Körper. Ein Schall entsteht, wenn durch Schwingungen eines elastischen Körpers in den umgebenden Luftschichten abwechselnd Verdünnungen und Verdichtungen erzeugt werden; indem sich diese auf die folgenden Luftschichten übertragen und so schliefslich auf unser Ohr einwirken, wird der Schall fortgepflanzt. *Die Schallfortpflanzung beruht somit auf einer Wellenbewegung der Luft,* d. h. *der Mitteilung einer schwingenden Bewegung von Teilchen zu Teilchen, wobei die in der Fortpflanzungsrichtung aufeinander folgenden Teilchen nacheinander dieselbe Schwingung machen.* Zum Verständnis dieses Vorganges ist zunächst ein genaueres Eingehen auf die Wellenbewegung flüssiger und elastischer (fester) Körper erforderlich.

a. Wasserwellen. Wirft man einen Stein auf eine ruhende Wasserfläche, so wird das Gleichgewicht der Wasserteilchen gestört; von dem Erschütterungsmittelpunkte ausgehend breiten sich kreisförmige Wellen aus, welche rasch fortschreiten und den Eindruck machen, als befände sich die ganze Wasserfläche in einer fliefsenden Bewegung. Ein leichter Körper indes, der auf dem Wasser schwimmt, wird von den Wellen, die unter ihm hinwegziehen, nur gehoben und gesenkt ohne wesentliche seitliche Fortbewegung; demnach ist auch die Wassermasse als Ganzes nicht in fortschreitender Bewegung, sondern es tritt nur eine abwechselnde Hebung und Senkung der einzelnen Wasserteilchen ein, welche dabei kleine Kreisbahnen beschreiben, also immer wieder an ihren Ausgangspunkt zurückkommen.

Zur Erläuterung dieses Vorganges betrachtet man die Bewegung einer Anzahl aufeinander folgender Wasserteilchen in der Richtung eines *Wellenstrahles*, d. h. einer Geraden, die vom Mittelpunkte der Welle nach der Peripherie derselben gezogen wird. Fig. 308 A stellt die Wasseroberfläche im Ruhezustande mit den Wasserteilchen 0 bis 15 dar; B bis E erläutert die Lage derselben Teilchen in den aufeinander folgenden Bewegungszuständen bis zur Ausbildung einer vollständigen Welle. Die Abstände der Wasserteilchen sind so gewählt, dafs jedes folgende seine Bewegung beginnt, wenn das vorhergehende $\frac{1}{12}$ seiner kreisförmigen Bahn zurückgelegt hat. Während nun A den vollkommenen Ruhezustand darstellt, haben bei B die Teilchen 0, 1 und 2 bereits $\frac{3}{12}$, $\frac{2}{12}$ und $\frac{1}{12}$ ihrer Bahn durchlaufen; das Teilchen 3 ist noch in seiner Ruhelage. In C hat das Teilchen 0 die Hälfte seiner Bahn zurückgelegt, die folgenden bis zum 6., welches seine Bewegung soeben beginnt, je $\frac{1}{12}$ weniger, also $\frac{5}{12}$, $\frac{4}{12}$ u. s. w. In D hat das Teilchen 0 von seiner Bahn $\frac{3}{4}$ vollendet und ist auf dem höchsten Punkte derselben, dem Gipfel des *Wellenberges* angekommen, während 6 die tiefste Stelle des *Wellenthales* einnimmt und $\frac{1}{4}$ der Bahn zurückgelegt hat. In E endlich ist 0 wieder in seine Ruhelage zurückgekehrt, der Wellenberg ist bis 3 und das Wellenthal bis 9 fortgeschritten, während 12 seine Bewegung erst beginnt. Der Eindruck des Fortschreitens von Wellenberg und Wellenthal wird also dadurch hervorgebracht, dafs jedes Wasserteilchen dem folgenden seine Bewegung mitteilt und demnach alle in der Richtung eines Wellenradius aufeinander folgenden Teilchen nach einander die gleiche Bewegung machen. *Die Entfernung von einem Teilchen bis zum nächsten, welches sich im gleichen Schwingungszustande befindet, heifst eine* **Wellenlänge**; in E stellt der Abstand von 0 bis 12 eine solche dar, welche einen Wellenberg (0 bis 6) und ein Wellenthal (6 bis 12) umfafst. Hiernach ergiebt sich zugleich das erste Gesetz der Wellenbewegung, dafs nämlich die Bewegung um eine Wellenlänge fortschreitet, während ein einzelnes Teilchen einen ganzen Umlauf (eine Schwingung) vollendet hat.

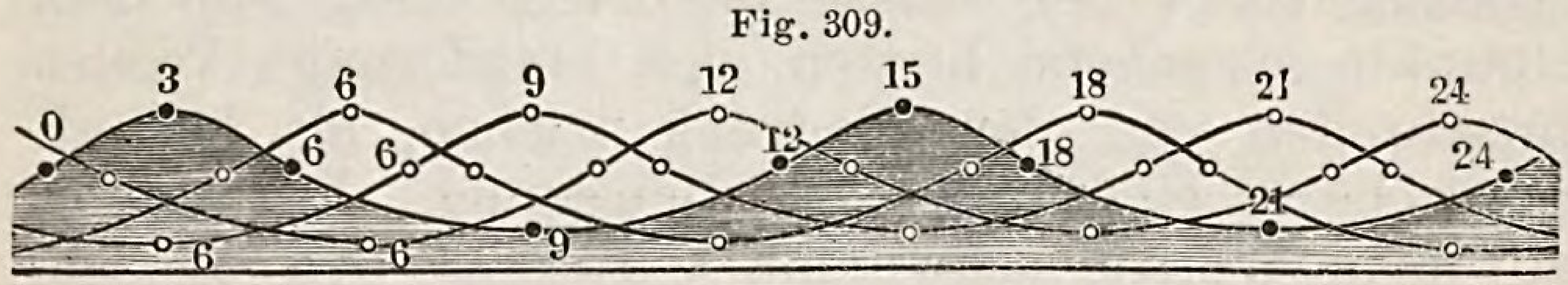
Fig. 308.



Die Wellenlänge ist gleich dem während der Dauer einer vollständigen Schwingung zurückgelegten Wege.

Solange die Ursache der Wellenbewegung fortdauert, setzen auch die Wasserteilchen ihre Bewegung fort, sodafs Wellenberg und Wellenthal gleichmäfsig sich verdrängen. Der schraffierte Teil von Fig. 309 stellt zwei vollständige Wellenlängen dar, bei 3 und 15 liegen die Berge, bei 9 und 21 die Thäler. Nach weiterem Umlauf von je $\frac{1}{4}$ der Schwingungsdauer sind Berge und Thäler entsprechend fortgerückt, sodafs die Welle nacheinander die durch die Kurven angedeutete Lage erhält. Erfolgen nun in 1 Sekunde n Schwingungen, so entstehen auch n Wellen in derselben Zeit, und der von der Wellenbewegung zurückgelegte Weg wird, wenn λ die Wellenlänge bezeichnet, durch das Produkt $n . \lambda$ ausgedrückt. Der in 1 Sekunde zurückgelegte Weg entspricht aber der Fortpflanzungsgeschwindigkeit, sodafs sich als das zweite Gesetz der Wellenbewegung ergiebt:

Fig. 309.

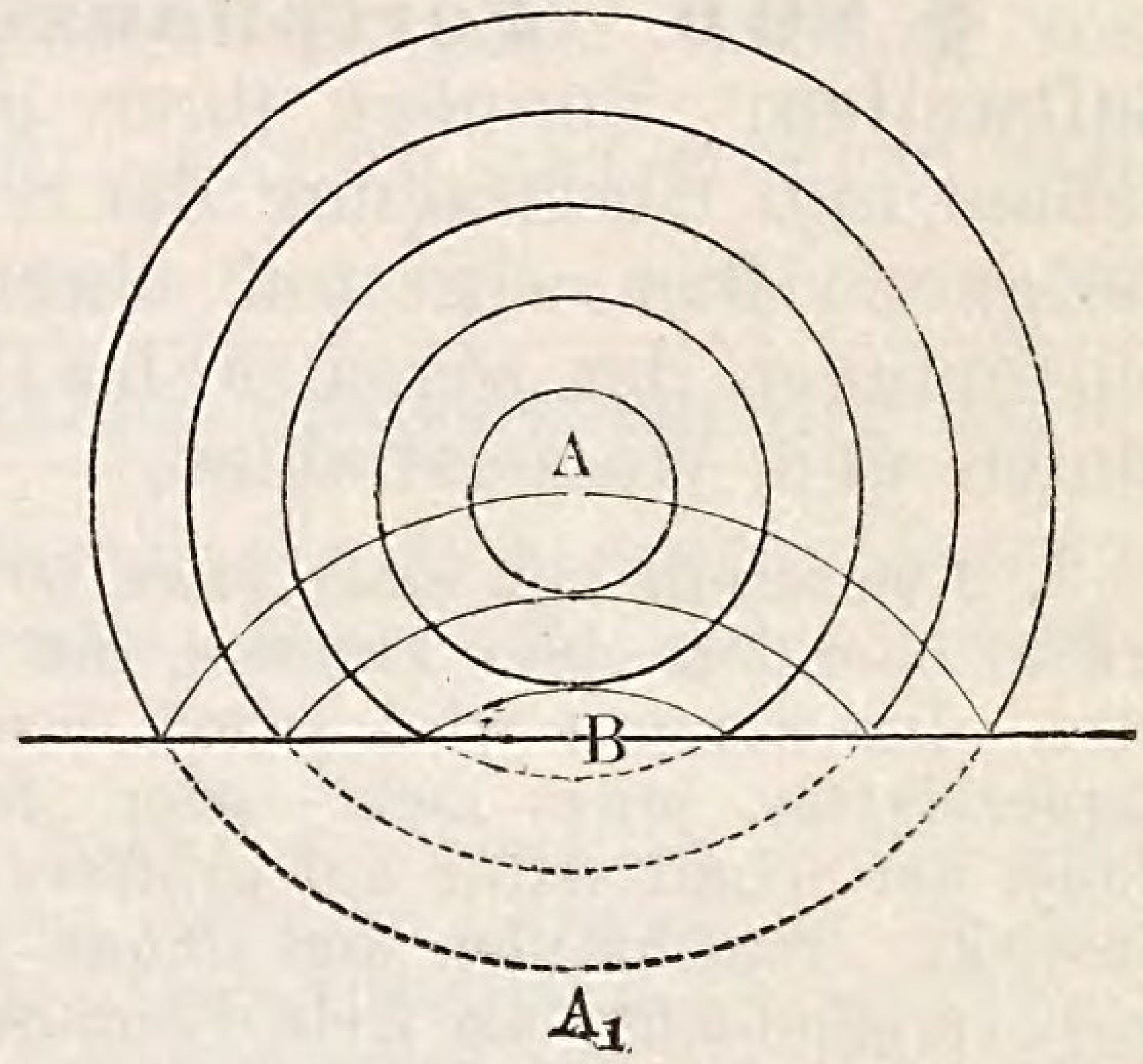


Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist gleich dem Produkt aus Schwingungszahl und Wellenlänge.

In Zeichen: $c = n . \lambda$

Zurückwerfung der Wellen. Die von A, Fig. 310, ausgehenden Wellen würden sich, wenn die Wand B nicht vorhanden wäre, als vollständige Kreise weiter fortsetzen. Dies wird durch die Wand dadurch verhindert, dafs sie die Wellen zurückwirft. Die Zurückwerfung erfolgt nach einem bestimmten Gesetze:

Fig. 310.



Werden kreisförmige Wellen von einer geraden, festen Wand zurückgeworfen, so scheinen sie von einem Punkte herzukommen, welcher ebensoweit hinter der Wand liegt, als ihr wirklicher Ausgangspunkt vor derselben.

Interferenz. Werden auf einer Wasserfläche gleichzeitig zwei Wellenzüge erregt, so durchkreuzen sich (interferieren) die Wellen, ohne sich jedoch in ihrer Fortbewegung weiter zu stören. Überall, wo zwei Wellenberge zusammentreffen, entsteht eine gröfsere Erhebung, wie umgekehrt da eine tiefere Senkung eintritt, wo zwei Wellenthäler zusammenfallen. Wo Berg und Thal sich kreuzen, gleichen sich beide mehr oder weniger aus. *Diese Erscheinungen, welche durch das Zusammenwirken zweier Wellenbewegungen eintreten, werden* **Interferenzen** *genannt.*

b. Seilwellen. Wird gegen ein schlaff gespanntes Seil, einen Kautschukschlauch oder eine elastische Spirale von Messingdraht nahe dem einen Ende ein Schlag geführt, so entstehen Ausbiegungen, welche sich längs des Seiles fortpflanzen und zwar in der Weise, dafs auf die erste Ausbiegung eine zweite in entgegengesetzter Richtung folgt, dann eine dritte, mit der ersten gleichgerichtete u. s. w. Man kann diese Ausbuchtungen als Wellenberge und Wellenthäler ansehen; zwei aufeinander folgende bilden dann eine Welle. Vergleichen wir diese Wellen mit den Wasserwellen, so finden wir den Unterschied beider darin, dafs die Wasserteilchen sich in Kreisen bewegen, während die Seilteilchen in geraden Linien senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der Welle schwingen. Da jedoch auch bei Wasserwellen die kreisförmige Bahn in eine schmal elliptische übergehen kann, so ist der Zusammenhang zwischen beiden Bewegungsformen leicht zu erkennen.

Die bei den Seilwellen auftretenden Schwingungen werden als **Quer- oder Transversalschwingungen** *bezeichnet.**)

Auch in festen Körpern findet eine Zurückwerfung der Wellen statt. Die Seilwelle z. B. wird reflektiert, sobald sie an dem Ende des Seiles angekommen ist und kann so die ganze Länge desselben mehrmals durchlaufen.

*) Auch die Ätherwellen, welche das Licht fortpflanzen, sind Transversalwellen (vgl. § 146).

Bem. Die Vorgänge bei allen anderen Wellenbewegungen sind ähnlicher Art, wie die an dem anschaulichen Beispiel der Wasserwellen und Seilwellen entwickelten. Ein sehr anschauliches Bild einer Wellenbewegung bietet auch ein wogendes Ährenfeld. Indem die einzelnen Ähren, vom Winde bewegt, sich senken und wieder heben, vollführen sie regelmäfsige Schwingungen, welche mit dem Windstofs über das Feld hingleiten und die dunklen und hellen Streifen (Wellenberge und Wellenthäler) veranlassen.

§ 89b. Fortpflanzung des Schalles in der Luft.

Luftwellen. Vermöge ihrer grofsen Elasticität ist die Luft zur Aufnahme und Übertragung der Schwingungen schallerregender Körper sehr geeignet. Dies wird auf überraschende Weise bestätigt durch die Erscheinungen der sogen. schallempfindlichen Flammen, Rauchsäulen und Wasserstrahlen.

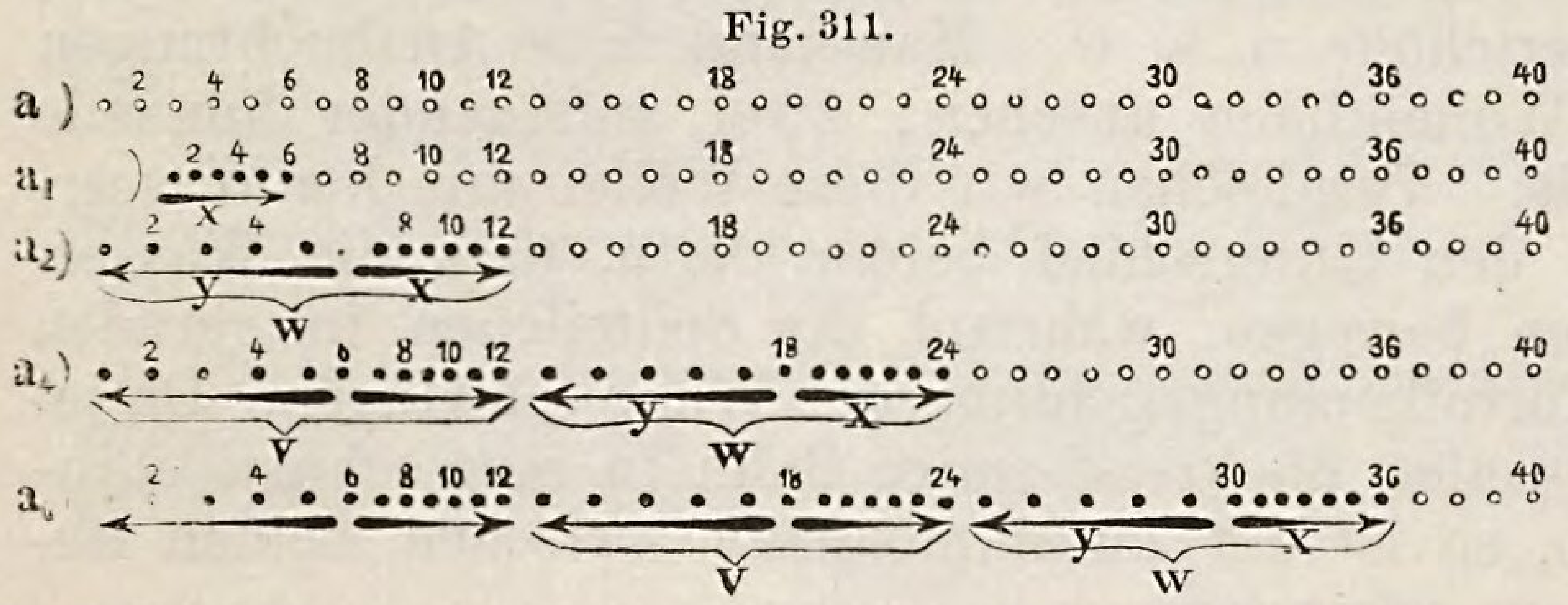
***Versuch** mit einer etwa 60 cm hohen, flackernden Flamme (bei hohem Gasdruck) oder mit einer Flamme, die über einem Drahtnetz (nach Fig. 116) entzündet wird. Die Flamme wird schon durch einen sehr schwachen Schall (Knistern eines Papierblattes, leiser „sch"- oder „ſs"-Laut) zum Zucken oder Erlöschen gebracht, wobei der Schall selbst auf gröfsere Entfernungen hin augenblicklich auf die Flamme einwirkt. Rauchsäulen und dünne Wasserstrahlen sind unter günstigen Umständen noch empfindlicher als freie Flammen.

Wie das Fortschreiten einer Welle auf der Wasseroberfläche von dem Fortfliefsen des Wassers verschieden ist, so beruht auch die Schallforfpflanzung in der Luft nicht auf einer Fortbewegung der Luft.

Bestätigung durch ***Versuche** mit dem Luftstofsapparat, einem cylindrischen Blechgefäfs, welches auf einer Seite durch eine elastische Haut (Pergamentpapier), auf der anderen Seite durch einen mit einem Loch versehenen Blechdeckel geschlossen ist. Füllt man das Gefäfs mit Rauch und schlägt gegen das Trommelfell, so treten Rauchringe aus der Öffnung im Deckel, welche sich merklich langsamer fortbewegen als der Schall. Die Einwirkung der Rauchringe auf eine in einigen Metern Entfernung befindliche Kerzenflamme zeigt den Stofs der fortbewegten Luft an.

Zur Veranschaulichung des bei der Schallfortpflanzung durch die Luft stattfindenden Vorganges kann Fig. 311 dienen. Man denke sich die einzelnen Luftteilchen als elastische Kugeln, welche sich durch Druck zusammenpressen lassen. Wenn eine elastische Kugel gegen eine Reihe von elastischen Kugeln stöfst (Glaskugeln in einer wagerechten Rinne), so bleiben die mittleren in Ruhe, und nur die letzte rollt fort. Wie die elastischen Kugeln, so werden auch die Luftteilchen durch den Stofs zusammengedrückt und dehnen sich wieder aus, wobei sie den Druck auf die benachbarten übertragen.

Fig. 311.



Indem der vom Schallerreger auf die Luftteilchen ausgeübte Stofs sich auf die nächstfolgende Luftschicht fortpflanzt, entsteht eine Luftverdichtung (x in der Reihe a_1). Während nun die Teilchen der verdichteten Luftschicht ihre vorwärts gerichtete Bewegung auf die folgenden Teilchen übertragen, beginnen die zuerst gestofsenen ihre Rückbewegung, wodurch eine Luftverdünnung (y in der Reihe a_2) entsteht. — Erfolgte nun kein zweiter Stofs, so würden die Teilchen der ersten Luftschicht nacheinander ihre ursprüngliche Lage wieder einnehmen und in Ruhe bleiben, während die Bewegung selbst von einer Luftschicht zur anderen fort-

schreiten würde. In allen Luftschichten würde nacheinander wie in der ersten Schicht Verdichtung und Verdünnung abwechseln (w in den Reihen a_2, a_4 und a_6) und dann Ruhe eintreten. Erfolgen jedoch neue Stöfse, so entstehen auch von neuem ebenso viele Luftverdichtungen und Luftverdünnungen, welche unmittelbar hinter den zuerst entstandenen hergehen, wenn die Stöfse unmittelbar aufeinander folgen (v in den Reihen a_4 und a_6).

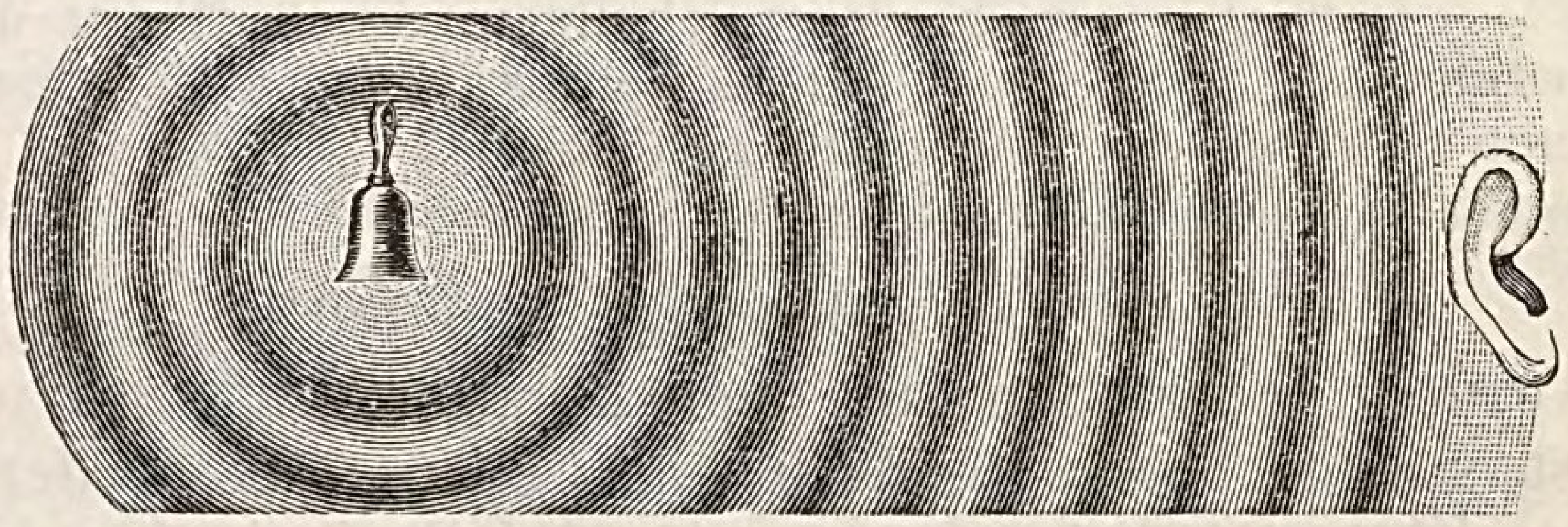
Die Luft pflanzt den Schall durch **Schwingungen** ihrer Teilchen fort. Die schwingenden Bewegungen bestehen in einem Wechsel von Luftverdichtungen und Luftverdünnungen und erfolgen vom Schallerreger aus in der Richtung der Schallstrahlen. Sie werden daher **Längsschwingungen (longitudinale Schwingungen)** genannt.

Eine einzelne verdichtete Luftschicht mit der sich anschliefsenden verdünnten Luftschicht bildet eine **Schallwelle.** *Die Dicke beider Schichten zusammen ergiebt die* **Wellenlänge.**

Da die Luftwellen wie die Wasserwellen fortschreitende Wellen sind (die Bewegung schreitet während der Dauer einer einzelnen Schwingung um eine Wellenlänge fort), so gelten die in § 89 a entwickelten Gesetze auch für die Schallfortpflanzung in der Luft. Dagegen ist die Art der Bewegung der einzelnen Teilchen bei den Wasserwellen und bei den Schallwellen eine verschiedene, denn während die Wasserteilchen Kreise beschreiben, gehen die Luftteilchen geradlinig hin und her und zwar in der Fortpflanzungsrichtung, wodurch sich die Luftwellen auch wieder von den Seilwellen unterscheiden. Die Wasserwelle vereinigt gewissermafsen die Schwingungszustände der Seilwelle und die der Luftwelle.

Könnte man die Luft sichtbar machen, so würden die verdichteten und verdünnten Luftschichten als schnell sich vergröfsernde Hohlkugeln erscheinen, deren Mittelpunkt der Schallerreger ist. In einer durch den Schallerreger gelegten Ebene würden die Luftschichten konzentrische Ringe bilden (Fig. 312). Je schneller der Schallerreger schwingt, um so mehr Ringe würden in derselben Zeit entstehen, um so schmaler würde daher jeder einzelne Ring sein müssen. Erfolgten in 1 Sek. etwa 340 Hin- und Herbewegungen, so würde jeder aus einer verdichteten und verdünnten Luftschicht bestehende Ring 1 m breit sein.

Fig. 312.



Übungsstoff. 1. Vgl. die Bewegung der den Schall fortpflanzenden Luft mit derjenigen des Schallerregers. — 2. Die Wellenbewegung des W. beruht auf der Schwere; auf welcher Eigenschaft der Luft beruht die Fortpflanzung des Schalles? — 3. Wv. Schallwellen entstehen in 5 Sek. durch eine tönende Stimmgabel, wenn diese in 1 Sek. 440 Schwingungen macht, und wie lang ist eine solche Welle? — 4. Vgl. die Schallwellen mit den Wasserwellen. — 5. Ein auf einer Wasserwelle schaukelnder K. wird vom Wellenberge eine kleine Strecke nach vorwärts, vom Wellenthale ebensoviel nach rückwärts bewegt. Welcher Schlufs läfst sich daraus ziehen hinsichtlich der Form der Bewegung? — 6. Vgl. die Schwingungsrichtung der Luftteilchen mit der Richtung, in welcher Luftwellen fortschreiten, indem sie den Schall fortpflanzen, und beide mit den entsprechenden Bewegungsrichtungen von Wasserwellen.

§ 90. Geschwindigkeit und Stärke des Schalles.

1. Geschwindigkeit des Schalles. Die Geschwindigkeit des Schalles in der atm. Luft ist durch zahlreiche Versuche möglichst genau bestimmt worden (§ 23), z. B. von Humboldt und Arago 1822 in der Nähe von Paris. — Zur Messung der Geschwindigkeit des Schalles im Wasser wurden 1827 am Genfer See Versuche angestellt; es wurde eine Glocke unter Wasser angeschlagen und an einem weit entfernten Punkte mittelst eines in den See getauchten langen Hörrohres beobachtet, wann der Schall ankam. Dabei ergab sich, dafs das Wasser den Schall mit einer Geschwindigkeit von 1435 m fortpflanzt. — Um die Geschwindigkeit des Schalles im Eisen zu bestimmen, wurde an dem einen Ende einer gegen 1000 m langen eisernen Wasserleitungsröhre ein Schufs abgefeuert. Der Knall wurde dabei am anderen Ende zweimal gehört, und zwar ging dem durch die Luft in der Röhre fortgepflanzten Schalle der im Eisen fortgeleitete vorher, welcher denselben Weg in $\frac{1}{15}$ der Zeit zurückgelegt hatte.

Die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Gasen und festen Körpern hat man auf indirektem Wege (durch Rechnung) bestimmt, da wegen der erforderlichen Länge des Schallweges eine direkte Bestimmung bei diesen Stoffen ausgeschlossen ist. In welcher Weise die Rechnung auszuführen ist, ergiebt sich aus den Gesetzen über tönende Luftsäulen und schwingende Stäbe (§ 94).

Im Eisen ist die Geschwindigkeit des Schalles ungefähr 15 mal, in Kupfer und Zink 11-, in Platin und Silber 8-, in Gold 6-, in Blei 4-, in Hölzern 10—18 mal, in Glas 17-, in Wasser $4\frac{1}{3}$ mal so grofs als in der Luft. In der Luft pflanzt sich der Schall in 1 Sek. bei 0° 332 mal, bei höheren Temperaturen ungefähr $\frac{1}{2}$ m für 1° C Temperaturzunahme schneller fort und zwar unabhängig vom Barometerstande, bei gleicher Temperatur also auf hohen Bergen ebenso schnell, als in Meereshöhe.

Dafs sich verschiedene Schalle in der Luft mit der gleichen Geschwindigkeit fortpflanzen, geht schon daraus hervor, dafs ein Musikstück aus einiger Entfernung ohne Störung der Harmonie gehört wird. *Starke und schwache Schalle, hohe und und tiefe Töne haben im allgemeinen dieselbe Fortpflanzungsgeschwindigkeit.*

2. Stärke des Schalles. Ein Schall mufs um so stärker gehört werden, je kräftiger die schwingende Luft auf unser Ohr einwirkt. Dies ist sowohl von der Wucht, mit welcher der Schallerreger die Luft erschüttert, als auch von der Dichtigkeit der Luft abhängig. Denn je gröfser die Masse des Schallerregers ist und je kräftiger die Ausschläge desselben sind, desto gröfser ist auch die Luftmasse, auf welche der Schallerreger unmittelbar einwirkt, und die Kraft, mit der sich die Schwingungen in der Luft fortpflanzen. Der Ton einer Turmglocke z. B. ist weit kräftiger als der einer ebenso tief klingenden Bafssaite; bei beiden ist der Ton anfangs am stärksten und wird bis zum gänzlichen Verklingen allmählich schwächer. Glocke wie Saite klingen um so stärker, je kräftiger der Schlag ist, welcher auf sie ausgeübt wird. Mit der Dichtigkeit der Luft aber wächst die Zahl der schwingenden Luftteilchen. In einer tief im Wasser hinabgelassenen Taucherglocke klingt jeder Schall verstärkt, in den höheren Luftschichten (Luftballon) geschwächt.

Fig. 313.



Versuch. Verdünnt man in einem Glasballon (Fig. 313) die Luft möglichst stark, so ist der Ton einer kleinen Glocke

im Ballon kaum noch hörbar; beim Eindringen von Luft wird derselbe wieder deutlicher.

Der Schall ist in der Luft um so stärker, 1) je gröfser die Masse und je schneller die schwingende Bewegung des Schallerregers, 2) je dichter die Luft ist, welche den Schall fortpflanzt. — Im luftleeren Raume kann der Schall sich nicht fortpflanzen.

In lockeren Körpern werden die Schallwellen mehr oder weniger geschwächt. Solche Körper pflanzen daher den Schall schlecht fort (§ 23). Dies erklärt sich daraus, dafs bei jedem Übergange der Schallbewegung aus einem Mittel in ein solches von anderer Dichtigkeit zugleich eine Reflexion eintritt. Je öfter sich dies wiederholt, desto schwächer mufs offenbar der Schall werden, — In der Luft pflanzt sich der Schall am stärksten fort, wenn die einzelnen Schichten derselben gleichmäfsige Beschaffenheit haben; ungleiche Erwärmung verschiedener Luftschichten, wie sie am Tage durch die Sonnenstrahlen bewirkt wird, hat eine Schwächung des Schalles zur Folge, der sich daher im allgemeinen in der Nacht besser fortpflanzt, als am Tage.

Der Einflufs der Entfernung auf die Stärke des Schalles erklärt sich daraus, dafs die Zahl der gleichzeitig zum Schwingen angeregten Teilchen in demselben Verhältnis wächst, in welchem die Oberflächen der Schallwellen an Gröfse zunehmen. Da nun die fortschreitenden Schallwellen immer gröfser werdende Hohlkugeln bilden, deren Halbmesser der Entfernung von der Schallquelle entsprechen, so kann der Schall z. B. in der doppelten Entfernung von der Schallquelle nur noch $\frac{1}{4}$, in der 3fachen nur $\frac{1}{9}$, in der 4fachen nur $\frac{1}{16}$ so stark sein als in der einfachen Entfernung.

In der freien Luft nimmt die Stärke des Schalles ab, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt.

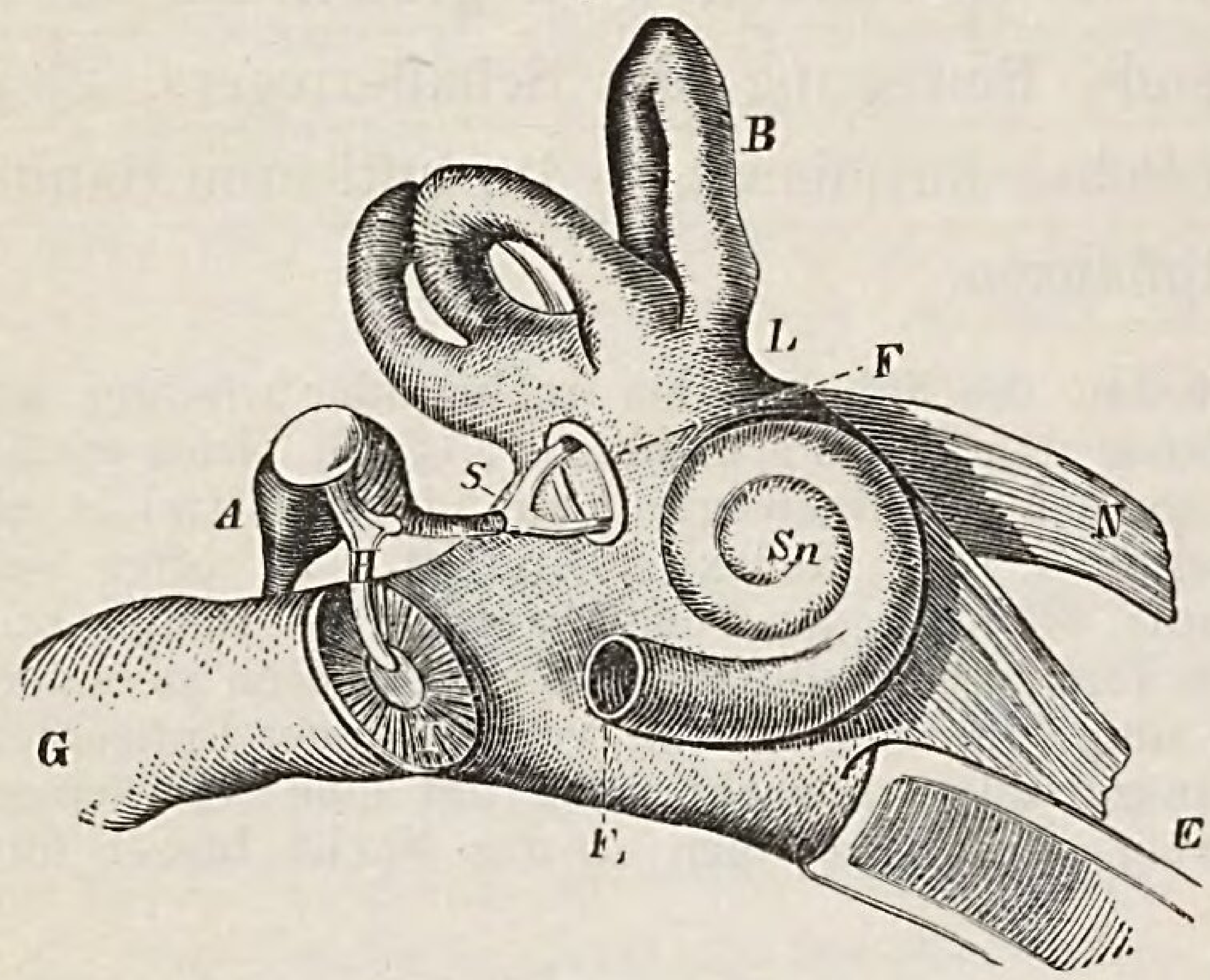
Um bei der Fortpflanzung des Schalles in der Luft eine derartige Abschwächung zu verhüten, hindert man die Schallwellen, sich gleichmäfsig auszubreiten, indem man sie durch Röhren leitet (Schall- und Hörrohr, § 24).

Übungsstoff. 1. Auf das eine Ende einer Gasleitungsröhre von 1000 m Länge werde ein kräftiger Schlag ausgeübt; a. wievielmal wird man den Schlag am anderen Ende hören, b. wv. Zeit wird zwischen beiden Schallen verstreichen? — 2. In Stubenuhren werden statt der Glocken vielfach gewundene Streifen von Stahl angewandt, deren Ton sehr tief ist. Wie verhält sich bei gleicher Tiefe die Stärke eines solchen Tones zu dem Tone einer Glocke? — 3. Wie läfst sich mit einer Stimmgabel nachweisen, dafs die Schwingungsweite einen wesentlichen Einflufs auf die Stärke des Schalles ausübt? — 4. Pistolenschüsse knallen auf hohen Bergen nicht so laut, als auf dem Meere; w.? — 5. Ein vom Fufse eines Berges ausgehender Schall klingt auf dem Gipfel des Berges stärker, als ein Schall, welcher oben entsteht und unten gehört wird. Wie mag sich dies erklären? — 6. Welche Stoffe eignen sich zur Füllung der Doppelwände von Fernsprechzellen? (§ 23.) — 7. Durch lange Wasserleitungsröhren kann man, wenn sie leer sind, sich flüsternd unterhalten. Erkläre dies. — 8. In Sälen klingen die Worte des Redners über geheizte Öfen hinweg leicht unverständlich. Erkl.! — 9. In den Äquatorgegenden steigt die Luft infolge der starken Erwärmung am Tage senkrecht auf; nachts findet diese Luftströmung nicht statt. Welchen Einflufs mufs dies auf die Deutlichkeit der Schallfortpflanzung am Tage und in der Nacht ausüben?

§ 91. Das Gehörorgan des Menschen. Phonograph.

Das menschliche Ohr (Fig. 314) besteht aus drei Hauptteilen: dem *äufseren Ohre*, der *Paukenhöhle* und dem *Labyrinthe*.*)

Fig. 314.



Das **äufsere Ohr** wird durch die *Ohrmuschel* (links von G, in der Figur nicht mit angegeben) und den *Gehörgang* (G) gebildet; es dient zum Auffangen des Schalles. Der Gehörgang ist an seinem inneren Ende durch eine dünne elastische Haut (T), das *Trommelfell*, gegen den mittleren Teil des Ohres, die Paukenhöhle, abgeschlossen.

Von der **Paukenhöhle** führt ein Kanal (E), die sogen. *Eustachische Röhre*, in die Schlundhöhle, sodafs die in dieser enthaltene Luft ebenso wie die des äufseren Gehörganges mit der atm. Luft in Verbindung steht. In der Paukenhöhle befindet sich ein kleiner Hebelapparat, welcher aus vier beweglich miteinander verbundenen Knöchelchen besteht, die ihrer Gestalt wegen als *Hammer* (H), *Ambos* (A), *Linsenkörperchen* und *Steigbügel* (S) bezeichnet werden. Der Hammer ist mit seinem Stiele dem Trommelfelle angewachsen und ruht mit seinem verdickten Ende auf dem Ambos; dieser ist durch das Linsenkörperchen mit dem Steigbügel verbunden, welcher wiederum einer zarten Haut, die das sogen. *ovale Fenster* (F) verschliefst, dicht aufliegt. Letzteres ist eine Öffnung in der Wand des Labyrinthes, der dritten Höhlung des Ohres. Neben dieser Öffnung befindet sich eine zweite, die ebenfalls durch eine zarte Haut überspannt ist, das *runde Fenster* (F_1).

Das **Labyrinth** enthält sehr verschieden gestaltete Hohlräume, welche mit einer wässerigen Flüssigkeit ansgefüllt sind und *Vorhof* (Raum zwischen S und L der Figur), *Schnecke* (Sn) und *halbkreisförmige Kanäle* (B) genannt werden. Der V o r h o f ist der mittlere dieser drei Teile; in seiner Wand befindet sich das ovale Fenster, während das runde Fenster den Eingang in die Schnecke bildet. Diese selbst ist ein gewundener Gang und wird ihrer ganzen Länge nach von einer Scheidewand durchzogen, auf der äufserst f e i n e N e r v e n f a s e r n zu mehreren Tausenden wie Klaviersaiten nebeneinander ausgespannt liegen. Diese sogen. C o r t i s c h e n F a s e r n werden als die *eigentlichen Organe zur Aufnahme der Schallreize* angesehen.

Die **Übertragung des Schalles auf die Fasern der Gehörnerven** findet in folgender Weise statt:

Die Luftwellen, welche durch die Schwingungen tönender Körper hervorgebracht werden, dringen in den äufseren Gehörgang ein und stofsen auf das Trommelfell. Dieses nimmt die Schwingungen auf und überträgt sie durch den Hammer auf die Kette der Gehörknöchelchen und teilweise auch auf die Luft in der Paukenhöhle, welche ihrerseits wieder auf die Haut des runden Fensters einwirkt. Da der Steigbügel an der Haut des ovalen Fensters befestigt ist, so mufs jede Schwingung desselben sich dem Labyrinthwasser im Vorhof mitteilen, indem jeder Stofs des ovalen Fensters nach innen durch einen entsprechenden Stofs des runden Fensters nach aufsen sich ausgleicht. Die auf diese Weise übertragenen Schwingungen pflanzen sich im Labyrinthwasser bis in die Bogengänge und in die Schnecke fort und wirken als Reize auf die Ausbreitungen der Gehörnerven, wodurch die Schallempfindungen zustande kommen.

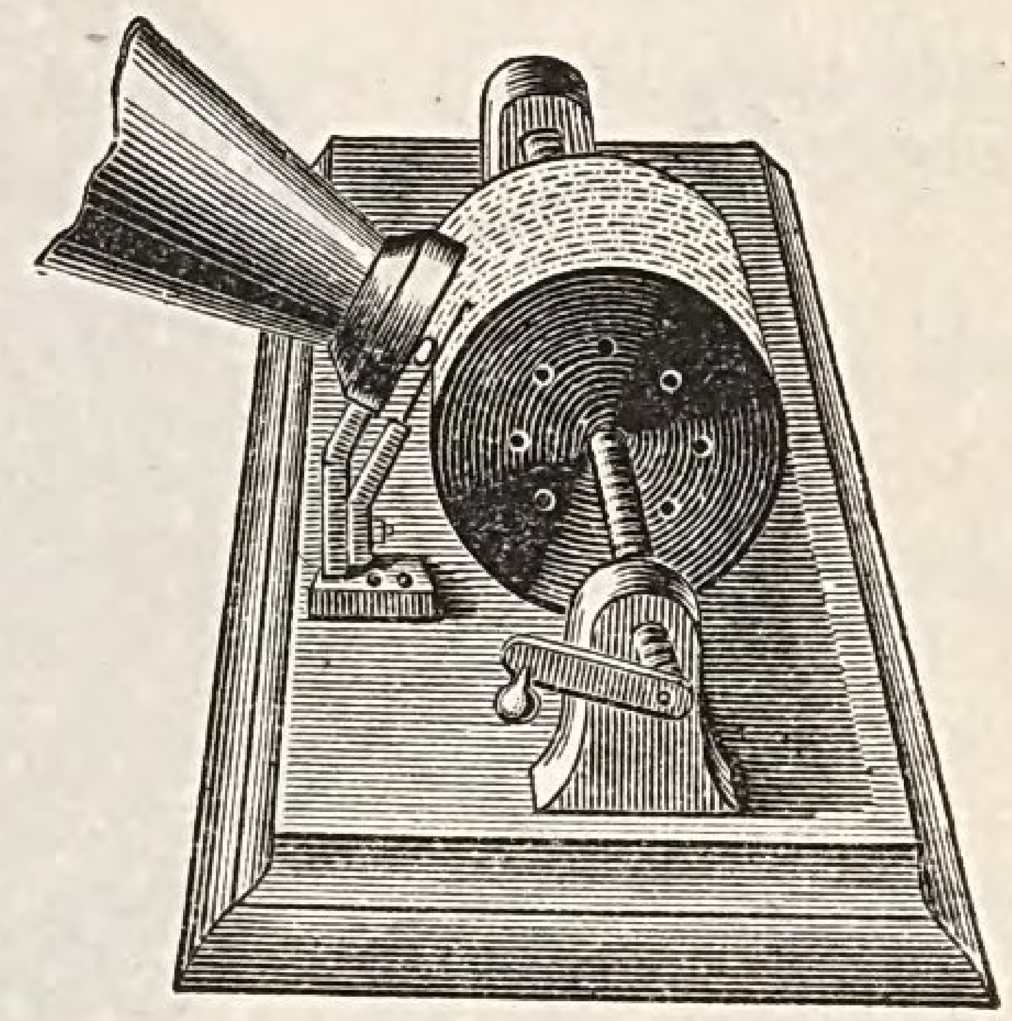
Grenzen der Gehörsempfindung. D i e F ä h i g k e i t d e s m e n s c h l i c h e n O h r e s, S c h w i n g u n g e n a l s S c h a l l z u e m p f i n d e n, l i e g t i n n e r h a l b

*) In Fig. 314 sind die Teile der Paukenhöhle und des Labyrinthes der Deutlichkeit wegen unverhältnismäfsig grofs dargestellt.

gewisser Grenzen, welche bei verschiedenen Menschen nicht übereinstimmen. Man hat gefunden, daſs im allgemeinen kein Ton mehr hörbar ist, wenn die Zahl der Schwingungen in einer Sekunde weniger als 16 oder mehr als 40 000 beträgt. Die Schwingungszahlen der musikalisch gut brauchbaren Töne liegen zwischen 40 und 4000.

Der **Phonograph**[1] oder **Lautschreiber** (Fig. 315) ist eine *Vorrichtung, welche die Laute der menschlichen Stimme und die Töne musikalischer Instrumente so aufzeichnet, daſs sie annähernd genau wieder hervorgerufen werden können.* Ein trichterförmiger Schallbecher ist an einem Ende durch eine Membran verschlossen und mit diesem Ende quer gegen eine drehbare Walze gerichtet. Die Walze ist mit einer wachsartigen Masse überzogen, in welche durch einen kleinen Stift, der alle Schwingungen der Membran mitmacht, sehr feine Eindrücke gezeichnet werden. Sobald Schallschwingungen aufgenommen werden sollen, wird die Walze gleichförmig gedreht, wobei sie sich zugleich in der Richtung ihrer Achse vor dem Stifte verschiebt. Bringt man dann die Walze in die anfängliche Stellung und läſst sie in gleicher Weise wie zuvor vor der Membran des Schallbechers umlaufen, so wird der Stift, indem er über die vorher gemachten Eindrücke hinweggleitet, auch wieder in dieselben Schwingungen versetzt, welche er nun der Membran mitteilt. Durch die Membran wird die Luft zu Schwingungen veranlaſst und so werden die ursprünglichen Laute wieder erzeugt.

Fig. 315.



Der Phonograph wurde 1878 von Edison erfunden. Ursprünglich diente ein um eine Walze gewickeltes Stanniolblatt zur Aufnahme der Schallschwingungen; die Walze wurde mit der Hand gedreht. Bei dem vervollkommneten Apparate wird des gleichmäſsigeren Ganges wegen zum Drehen der Walze ein elektrischer Motor angewandt.

Übungsstoff. **1.** Inwiefern ist die Elasticität der betreffenden Teile des Ohres für die Übertragung des Schalles wichtig? — **2.** Aggregatzustände der in den Höhlungen des Ohres mitwirkenden Teile? (Reihenfolge!) — **3.** Das Trommelfell ist schräg gegen den Gehörgang gerichtet. Bei dieser Stellung kann eine gröſsere Anzahl von der Wand des Gehörganges reflektierter Schallstrahlen rechtwinklig gegen das Trommelfell treffen. Inwiefern ist dies vorteilhaft? — **4.** Der Stiel des Hammers ist genau in der Mitte des Trommelfelles angewachsen. Mech. V.? — **5.** Welche Einrichtung bewirkt, daſs die Paukenhöhle stets mit Luft von der Spannung der äuſseren Luft gefüllt ist? — **6.** Welchen Zweck hat es, wenn Kanoniere beim Abfeuern der Geschütze den Mund öffnen? — **7.** Wenn das runde Fenster des Labyrinthes nicht vorhanden wäre, so würde eine Bewegung der darin enthaltenen Flüssigkeit nicht erfolgen können. Wie läſst sich dies aus einer Eigenschaft der Flgkn. schlieſsen? — **8.** Suche zu erklären, warum das Zerreiſsen des Trommelfelles noch nicht völlige Taubheit zur Folge hat. — **9.** Vergl. die Vorgänge beim Hören mit der Wirkungsweise des Phonographen.

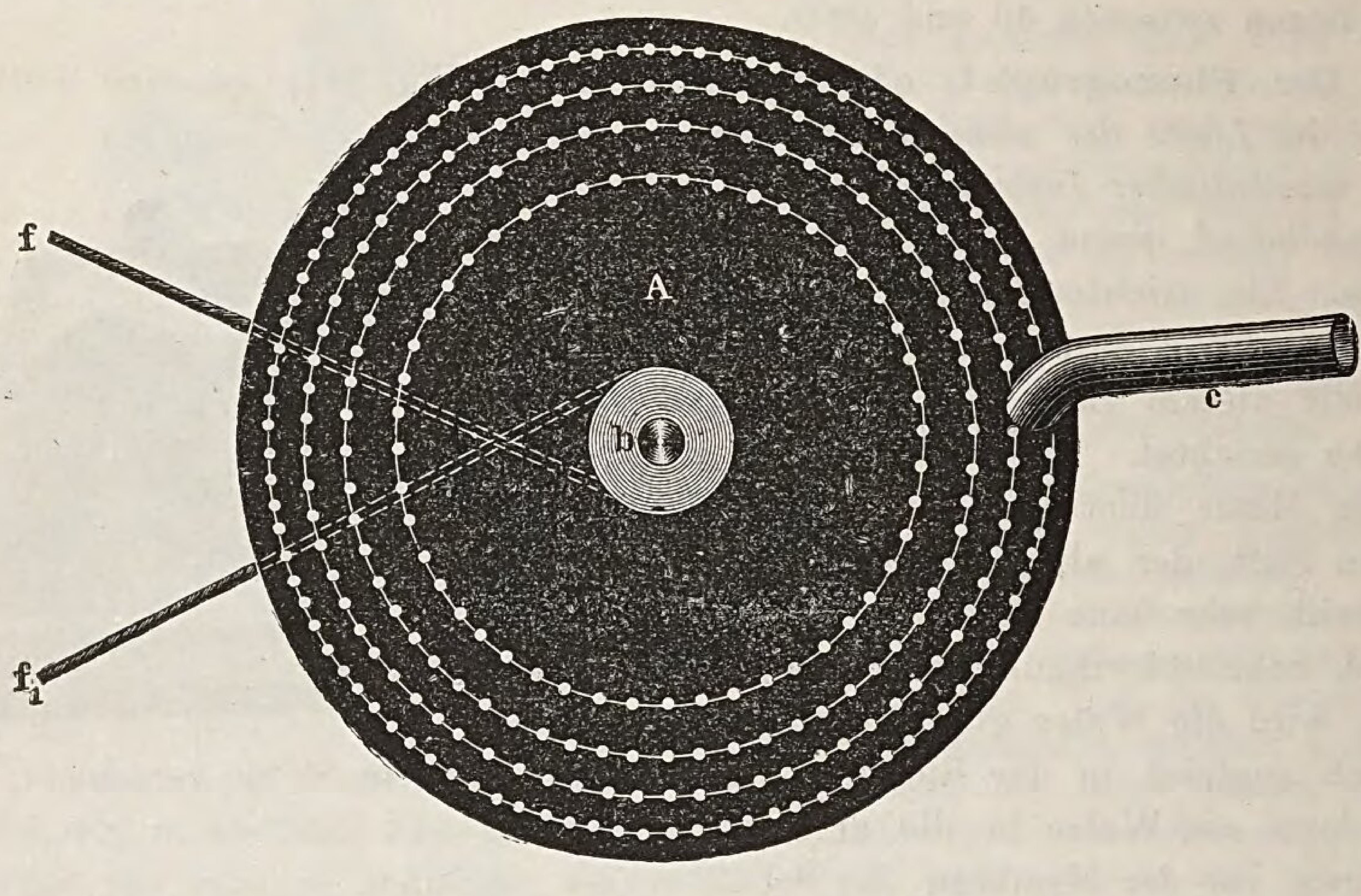
Von den Tönen und den wichtigsten Tonerregern.

§ 92. Töne und Intervalle. Um die Schwingungszahlen der Töne zu bestimmen, bedient man sich der sogen. **Sirene,** einer *kreis-*

[1]) φόνος (phonos), Schall; γράφειν (graphein), schreiben.

runden Scheibe (Fig. 316), welche *in mehreren konzentrischen Reihen eine Anzahl gleichweit voneinander entfernter Löcher* (z. B. 48, 60, 72 und

Fig. 316.

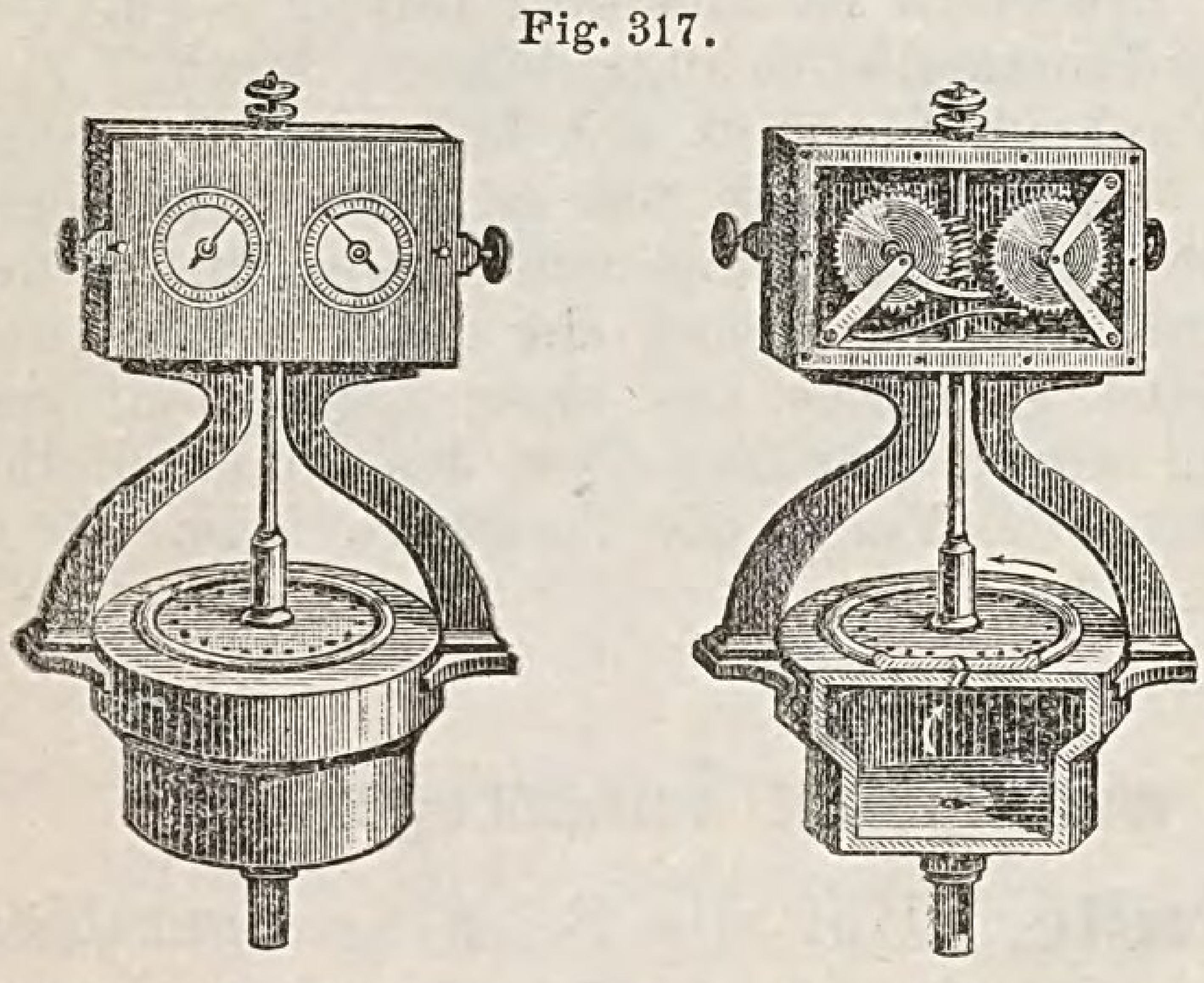


96 oder 48, 54, 60, 64, 72, 80, 90 und 96) enthält und um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Achse schnell gedreht werden kann.

Versuch. Während der Umdrehung wird gegen eine der Löcherreihen ein Luftstrom gerichtet. Dadurch entsteht ein Ton. Wird die Sirene mit wachsender Geschwindigkeit gedreht, so nimmt die Höhe des beim Anblasen einer Reihe entstehenden Tones zu. Bläst man alle Reihen von innen nach aufsen bei unveränderter Geschwindigkeit der Drehung an, so entstehen bestimmte Tonfolgen. Sämtliche Töne sind um so stärker, je kräftiger man bläst.

Erklärung: Dadurch, dafs der Luftstrom mit kurzen Unterbrechungen durch die Löcher der Scheibe hindurchgeht, erhält die Luft unter der Scheibe rasch aufeinander folgende Stöfse, sodafs sie in Schwingungen gerät. Dreht sich nun die Scheibe mit unveränderter Geschwindigkeit, so müssen diese Luftstöfse in gleichen Unterbrechungen, also regelmäfsig aufeinander folgen. Je kräftiger der Luftstrom ist, desto stärker werden die Luftteilchen fortgestofsen, um so gröfser ist demnach ihre Schwingungsweite und um so stärker der Ton.

Fig. 317.



Zur genauen Bestimmung der Schwingungszahlen sind mit Zählwerk versehene Sirenen ganz besonders geeignet (Fig. 317). Die schief durchlöcherte Scheibe derselben wird durch den in einer Windlade erzeugten Luftstrom in Umdrehung versetzt und die Zahl der Umdrehungen auf einem Zifferblatte angezeigt. — Statt der Lochsirenen lassen sich (für hohe Töne) auch Zahnradsirenen anwenden, deren Zähne man gegen den Rand eines elastischen Kartenblattes schlagen läfst.

Da sich nachweisen läfst, dafs die Höhe der Töne von der Natur und sonstigen Beschaffenheit der Schallerreger völlig unabhängig und nur durch die Anzahl der in einer Zeiteinheit entstehenden Schwingungen bedingt ist, so gilt der Satz:

Die **Töne** entstehen durch regelmäfsige Schwingungen. Die **Höhe eines Tones** nimmt mit der Anzahl der Schwingungen zu.

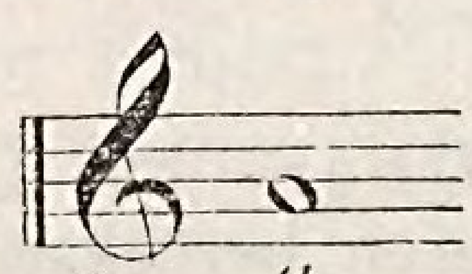
Bem. Während man bei der Pendelbewegung (§ 77) unter Schwingung stets eine einfache Schwingung versteht, pflegt man beim Schall eine Doppelschwingung (Hin- und Hergang) als Schwingung zu bezeichnen.

Das Verhältnis der Schwingungszahlen zweier Töne heifst in der Musik **Intervall**, *der tiefere der beiden Töne* **Grundton.**

Ordnet man die Töne nach den Schwingungszahlen, indem man dem Grundton die Schwingungszahl n giebt, so erhält man die diatonische Tonleiter. Dividiert man die zugehörigen Verhältniszahlen durcheinander, so ergeben sich die Intervalle von je zwei aufeinander folgenden Tönen.

Prime	Sekunde	Terz	Quarte	Quinte	Sexte	Septime	Oktave
c	d	e	f	g	a	h	c′
n	$\frac{9}{8}$n	$\frac{5}{4}$n	$\frac{4}{3}$n	$\frac{3}{2}$n	$\frac{5}{3}$n	$\frac{15}{8}$n	2n
	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

Die Zusammenstellung zeigt, dafs in der diatonischen Tonleiter nur drei Arten von Intervallen vorkommen; die Intervalle $\frac{9}{8}$ und $\frac{10}{9}$ heifsen ganze Töne (grofser und kleiner Ganzton), das Intervall $\frac{16}{15}$ wird halber Ton genannt. Die Töne haben in allen Oktaven dieselben Namen, deshalb werden die Oktaven durch einen Zusatz unterschieden; mit der tiefsten beginnend ist die Bezeichnung folgende: Subkontra- und Kontra-Oktave, grofse, kleine, eingestrichene, zweigestrichene Oktave u. s. w.

Für das eingestrichene  (= a oder a′) der Stimmgabel beträgt die Schwingungszahl nach der Pariser Stimmung 435. Dieser Ton (sogen. Kammerton) wird jetzt allgemein beim Stimmen musikalischer Instrumente zu Grunde gelegt und durch genaue Stimmgabeln bestimmt. Für physikalische Rechnungen werden die Schwingungszahlen häufig abgerundet.

Ist für einen beliebigen Ton die Schwingungszahl bekannt, so läfst sich berechnen: 1. Die Schwingungszahl eines jeden anderen Tones (siehe die Tabelle). Entsteht z. B. der Ton a′ durch 435 Schwingungen, so entsteht c′ durch $435 \cdot \frac{3}{5} = 261$ Schwingungen u. s. w. 2. Die Wellenlänge für die Fortpflanzung des Tones in der Luft. Bezeichnet n die Schwingungszahl, so ist (nach der Formel $c = n \cdot \lambda$) die Wellenlänge des Tones $\lambda = \frac{340}{n}$ m.

Übungsstoff. 1. Wie schnell mufs die Sirene (Fig. 316) gedreht werden, damit durch Anblasen der innersten Löcherreihe nahezu der Stimmgabelton entsteht? — 2. Wie lassen sich mit Hilfe von Zahnrädern die Schwingungszahlen der Töne bestimmen? — 3. Wenn sich ein Beobachter dem Orte der Entstehung eines Tones oder umgekehrt die Schallquelle dem Beobachter schnell nähert, so nimmt die Höhe des Tones etwas zu, im entgegengesetzten Falle etwas ab (Pfiff einer sehr schnell an dem Beobachter vorbeifahrenden Lokomotive). Wie läfst sich dies erklären?*) — 4. Durch wieviele Schwingungen entsteht die erste, zweite und dritte

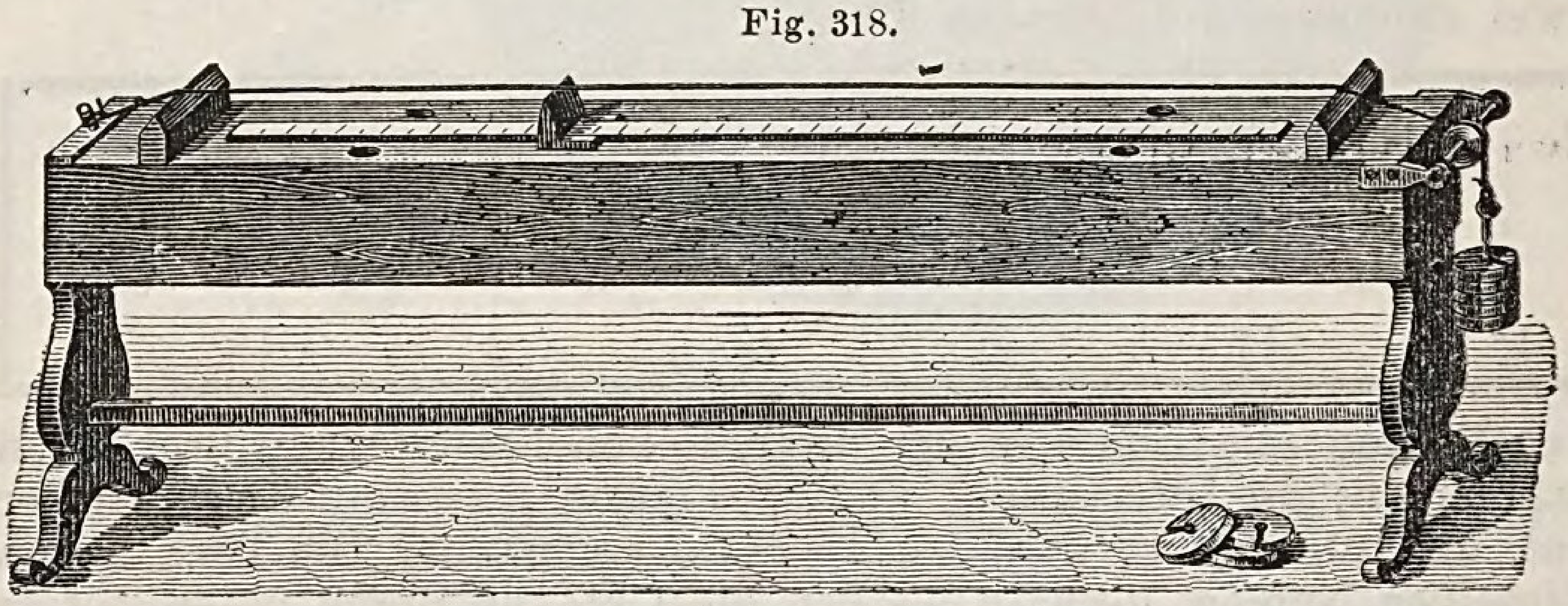
*) Dopplersches Princip. Über eine wichtige Anwendung desselben in der Lehre vom Lichte vergl. § 112.

über dem Stimmgabelton liegende Oktave? — 5. Durch wieviele Schwingungen entstehen dagegen die entsprechenden tiefer liegenden Oktaven? — 6. Länge der fortschreitenden Wellen dieser Töne? — 7. Wie grofs ist die Wellenlänge des tiefsten und höchsten hörbaren Tones? — 8. Wie grofs ist die Schwingungszahl der Terz, Quarte, Quinte und Sexte des Stimmgabeltones?

§ 93. Tönende Saiten. Obertöne. Schwingungen der Stäbe und Platten. Klaviere, Harfen, Geigen und andere Instrumente erzeugen die Töne durch das Schwingen von Saiten. Bei einzelnen dieser Instrumente, wie beim Klavier, sind die tiefer klingenden Saiten bedeutend länger und dicker und mit Metalldraht umsponnen; der Ton wird dadurch erhöht, dafs man die Saiten stärker anspannt. Hiernach übt sowohl die Länge und Dicke, als auch die Spannung der Saiten einen Einflufs auf die Tonhöhe aus.

Zu genauen Untersuchungen über Saitenschwingungen dient ein **Monochord,** [1]) d. h. ein *dünnwandiger Kasten* (Fig. 318), *der mit einer Saite bespannt ist,* deren schwingendem Teile durch einen *verschiebbaren Steg* eine beliebige Länge und durch *Gewichte* eine genau mefsbare Spannung gegeben werden kann.

Fig. 318.



Bem. Saiten können sowohl Quer- als Längsschwingungen ausführen; in folgendem sind nur die ersteren berücksichtigt. Die Schwingungen einer tönenden Saite dürfen mit den Querschwingungen einer Seilwelle nicht verwechselt werden, denn während bei den letzteren jedes folgende Teilchen seine Bewegung später beginnt *(fortschreitende Welle)*, befinden sich bei den Saitenschwingungen alle Teilchen gleichzeitig in demselben Bewegungszustande. Schwingungen dieser Art werden **stehende Schwingungen** genannt. Alle tönenden Körper befinden sich in diesem Schwingungszustande.

Versuch a. 1) Läfst man die Saite eines Monochords zunächst als Ganzes und darauf bei unveränderter Spannung in Bruchteilen schwingen und zwar etwa in $\frac{4}{5}$, $\frac{2}{3}$ und $\frac{1}{2}$ ihrer ganzen Länge, so erhält man aufser dem Grundtone noch Töne, deren Schwingungszahlen $\frac{5}{4}$, $\frac{3}{2}$ und 2 mal so grofs sind als die Schwingungszahl des Grundtones, nämlich die Terz, Quinte und Oktave desselben. — 2) Dieselben Töne erhält man auch, wenn man bei unveränderter Länge der Saite die Spannung derselben nach den Quadraten der Zahlen $\frac{5}{4}$, $\frac{3}{2}$ und 2 vergröfsert. — 3) Läfst man darauf zwei Saiten von ungleicher Stärke, aber von derselben Länge und demselben Stoffe bei gleicher Spannung schwingen, so giebt die dickere einen tieferen Ton. — 4) Ist der Stoff der Saiten unter sonst gleichen Bedingungen verschieden (Stahl- oder

[1]) μόνος (mónos), allein und χορδή (chordē), Saite.

Darmseite), so ist bei der aus dichterem Stoffe bestehenden Saite der Ton ebenfalls tiefer.

Die Zahl der Schwingungen einer Saite wächst bei unveränderter Spannung in demselben Verhältnis, in welchem man die Saite verkürzt, und bei unveränderter Länge im Verhältnis zur Quadratwurzel der Spannung. — Je dicker und dichter eine Saite ist, desto kleiner ist ihre Schwingungszahl, um so tiefer demnach auch ihr Ton.

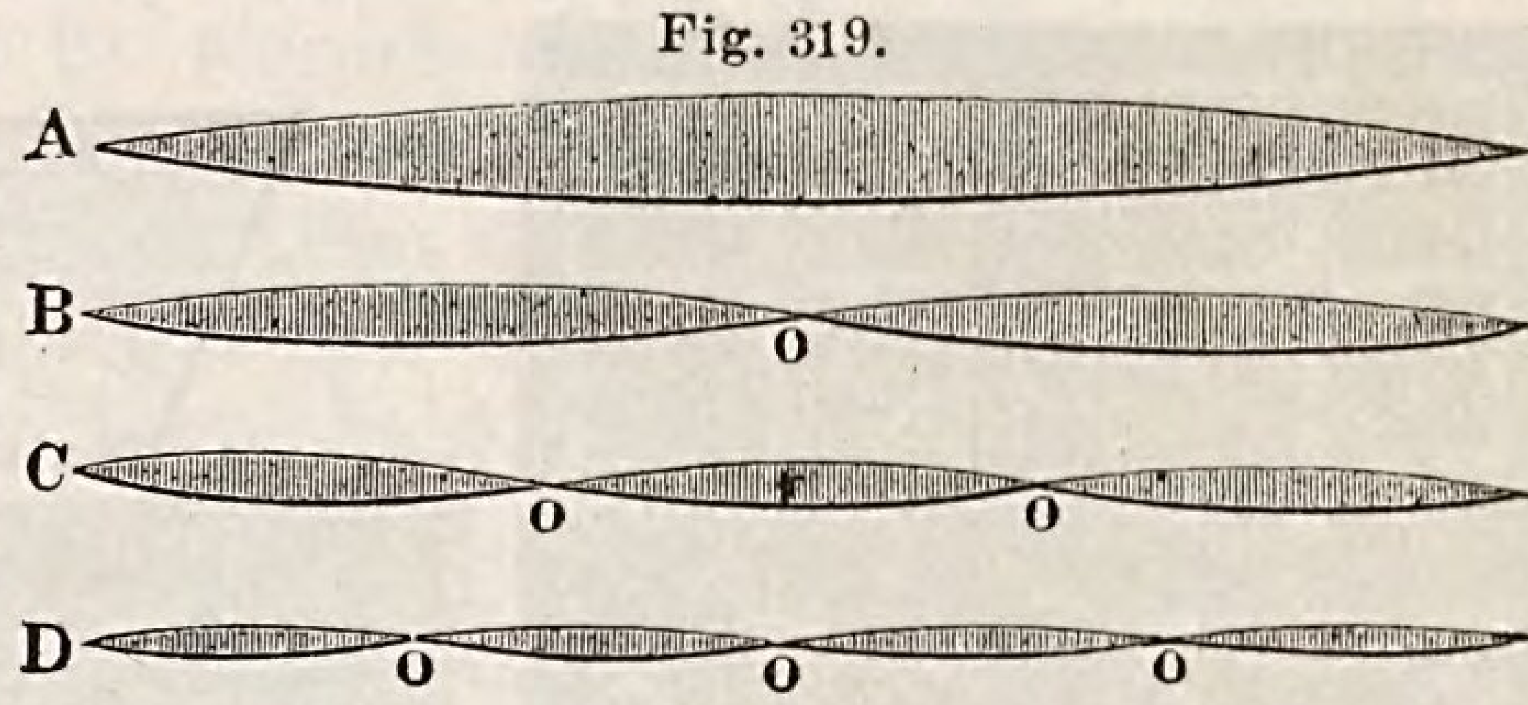
Genaue Untersuchungen lehren, dafs die Schwingungszahlen (n und n_1) zweier Saiten sich gerade so verhalten, wie die Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften (P und P_1) und umgekehrt wie die Längen (L und L_1), die Dicken (D und D_1) und die Quadratwurzeln aus den spec. Gewichten (S und S_1) der Saiten.

In Zeichen: $$n : n_1 = \frac{\sqrt{P}}{LD\sqrt{S}} : \frac{\sqrt{P_1}}{L_1D_1\sqrt{S_1}}.$$

Wenn eine Saite als Ganzes schwingt, so giebt sie ihren tiefsten Ton, den **Grundton**, *an.*

Versuch b. Man lasse eine Saite abermals in Teilen schwingen (B, C, D, Fig. 319), indem man sie mit dem Finger oder einem Federbart nur leise berührt (in $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ ihrer Länge). Streicht man dann das abgegrenzte Stück der Saite an, so schwingt der andere Teil mit und zwar bei Berührung der Mitte der Saite als Ganzes, in den anderen Fällen in zwei oder drei Teilen, von denen jeder so lang ist wie der angestrichene Teil. (Nachweis durch Papierreiterchen). Je zwei benachbarte Teile bewegen sich in entgegengesetztem Sinne, der eine nach oben und der andere nach unten.

Fig. 319.



Die durch das Schwingen einer Saite in Teilen entstehenden weichen Töne heifsen **Neben-** *oder* **Obertöne,** *und zwar harmonische Obertöne, wenn ihre Schwingungszahlen ganze Vielfache von der Schwingungszahl des Grundtones sind.*

Die Punkte, welche zwischen den schwingenden Teilen in Ruhe bleiben, werden **Knotenpunkte,** *die Punkte gröfster Schwingungsweite* **Schwingungsbäuche** *genannt.*

Eine Saite giebt nie ihren Grundton allein, sondern stets mit diesem zugleich eine Reihe von Obertönen an, wie sich durch sogen. Resonatoren nachweisen läfst (§ 95). Welche Obertöne mitklingen können, hängt davon ab, an welcher Stelle die Saite gestrichen oder angeschlagen wird. Man hört die Obertöne, welche den Ton voller (als Klang, § 95) erscheinen lassen, am leichtesten beim Ausklingen der Saite.

Musiker machen von den Obertönen der Streichinstrumente (Flageolettönen) bisweilen Gebrauch, um sehr hohe Töne hervorzurufen. Auf der Entstehung solcher Töne beruht auch die Musik der Äolsharfe, eines dünnwandigen Kastens, über welchen mehrere Saiten von ganz gleicher Stimmung gespannt sind. Im Luftzuge werden diese Saiten in Schwingungen versetzt. Jede Saite schwingt dabei als Ganzes und auch in Teilen. In derselben Weise kommt auch das Tönen von Telegraphendrähten zustande.

Elastische Stäbe können in Querschwingungen, Längsschwingungen und drehende Schwingungen versetzt werden. Die Tonhöhe hängt von dem Material, von der Länge und Dicke, der Art der Befestigung und Schwingung ab (Glasharmonika, Spieldose u. s. w.). Eine besonders wichtige Anwendung von den Transversalschwingungen elastischer Stäbe macht man bei der *Stimmgabel.* Beide Schenkel derselben schwingen gleichzeitig nach innen oder nach aufsen; die Knotenpunkte liegen in der Nähe der Biegung (Fig. 332), wie man durch Anlegen eines Fingers nachweisen kann. Aufser ihrem Grundton giebt die Stimmgabel in der Regel noch hohe, unharmonische Obertöne an.

Zur Verstärkung des Tones wird die Stimmgabel häufig auf einem Resonanzkasten befestigt (Fig. 331). Indem man an einer Zinke ein Stückchen Federbart befestigt und die tönende Gabel über eine berufste Glasscheibe zieht, lassen sich ihre Schwingungen in Form einer Wellenlinie darstellen.

Bei tönenden Platten läfst sich die Art der Schwingung leicht durch die sogen. **Chladnischen Klangfiguren** (Fig. 320) nachweisen. Dieselben entstehen, wenn man Scheiben von Metall oder Glas mit feinem Sande bestreut und darauf am Rande mit einem Geigenbogen (Fig. 321) kräftig anstreicht. Von den am stärksten schwingenden Stellen bewegt sich dabei der Sand nach solchen, welche in Ruhe bleiben. Je tiefer der Ton ist, desto einfacher, je höher er ist, desto zusammengesetzter sind die Figuren.

Fig. 320.

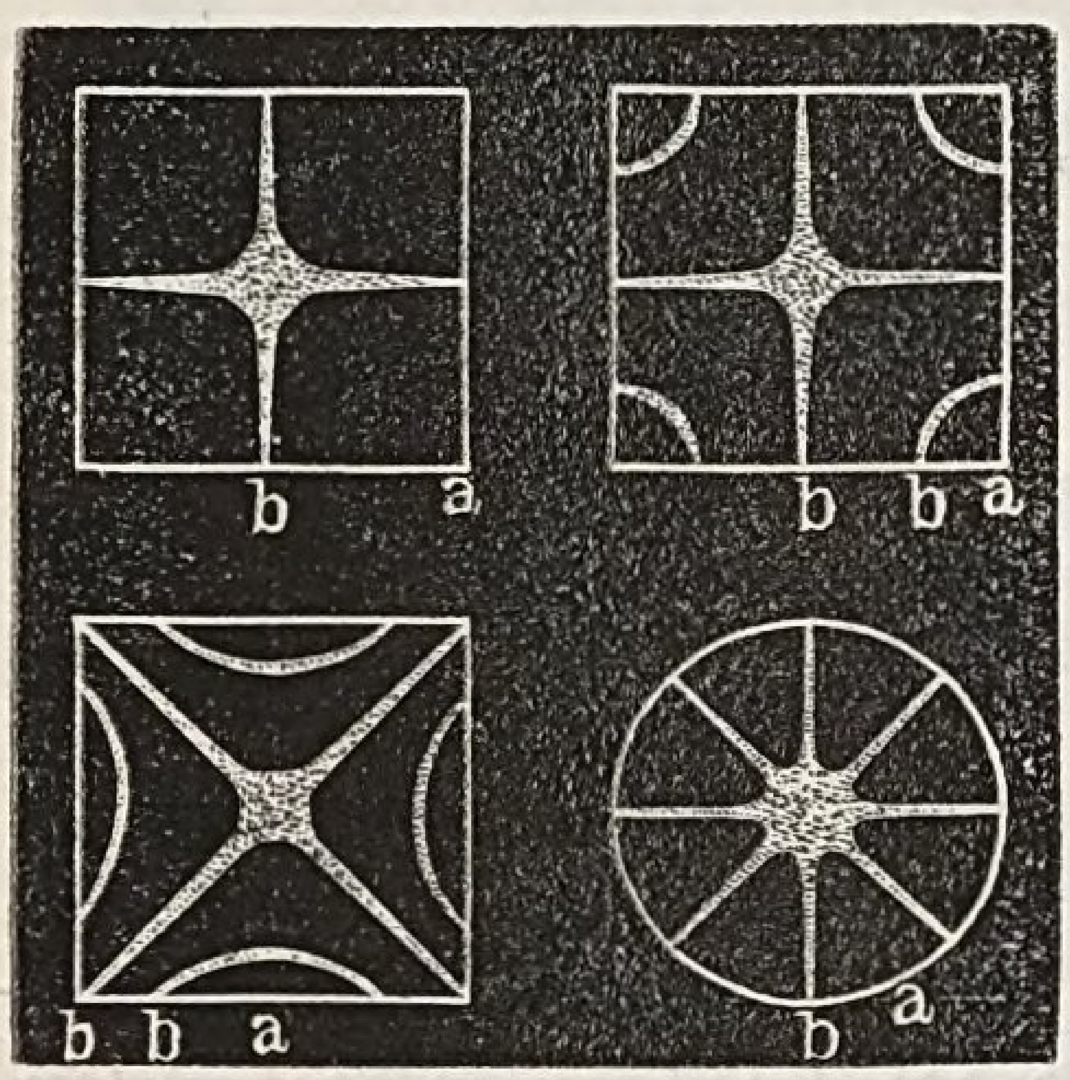
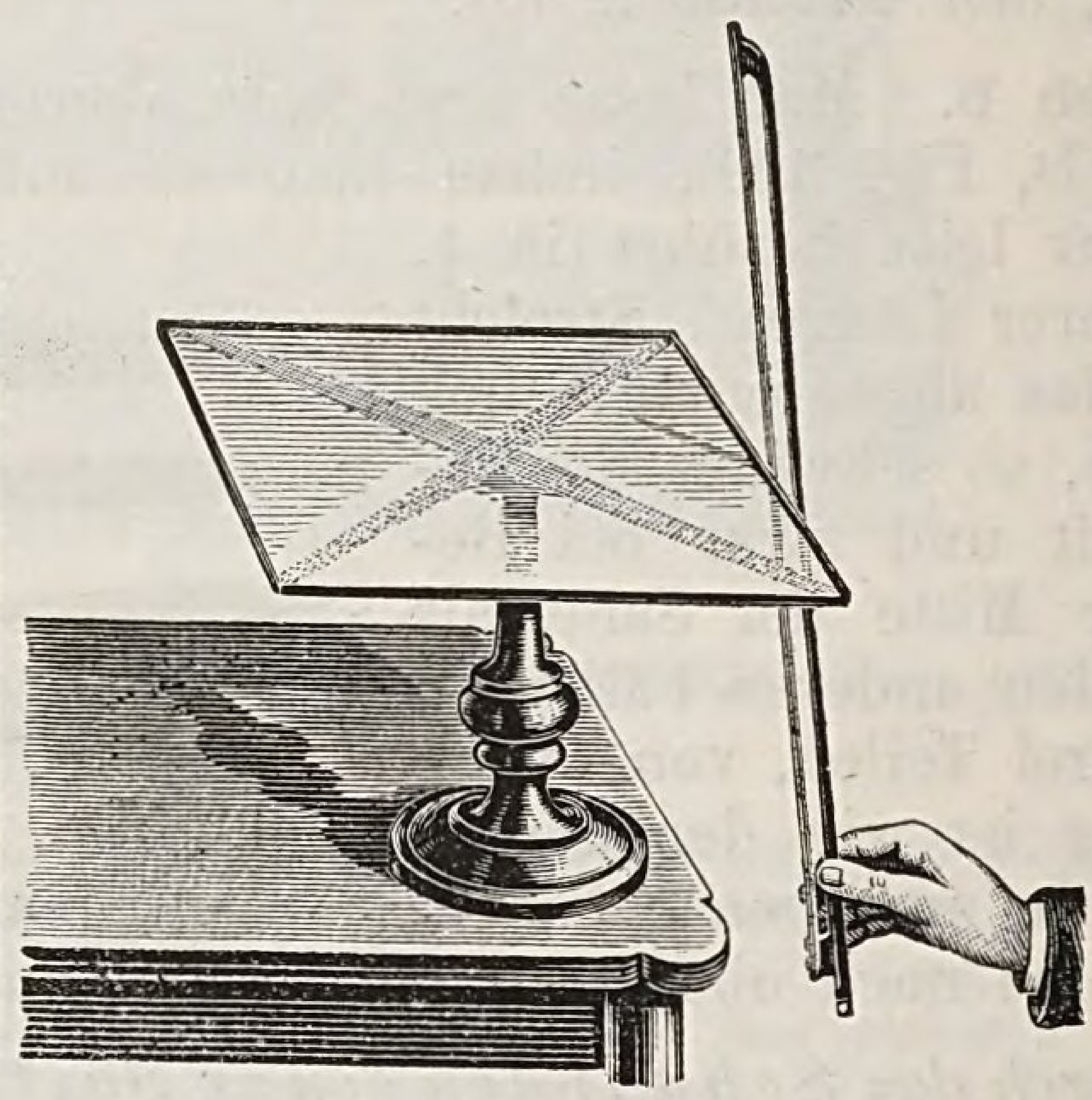


Fig. 321.



Bem. In den Klangfiguren bezeichnet a die anzustreichende Stelle, b die mit dem Finger festzuhaltenden Stellen (Knotenlinien) der Scheiben.

Auch gekrümmte Scheiben (Glocken) schwingen beim Tönen stets in Teilen. Bringt man z. B. mit Wasser gefüllte Glasglocken durch einen Geigenbogen zum Tönen, so kräuselt sich das Wasser beim Grundton an vier, bei höheren Tönen an mehreren Stellen (Fig. 80). — Gespannte Membranen (Trommelfelle) schwingen ähnlich wie Platten. Zahlreiche Insekten besitzen Vorrichtungen, welche schwingenden Saiten oder Platten gleichen und durch Reiben zum Tönen gebracht werden (Heimchen und Heuschrecken z. B. erzeugen Töne durch Reiben der Flügeldecken und Hinterschenkel); viele Insekten bringen auch Flugtöne hervor, während andere Insektentöne so hoch liegen, dafs sie sich der Wahrnehmung durch das menschliche Ohr entziehen. — Die Erzeugung von Tönen durch schnelle Bewegung (Brummkreisel, Gewehrkugeln) oder durch ungleichmäfsige Erwärmung eines Metallstabes (Trevellyans Wackler) und noch andere Ursachen ist leicht zu beobachten.

Übungsstoff. 1. Warum sind manche Darmsaiten mit dünnem Metalldraht umsponnen? — 2. Warum ändert sich die Stimmung der mit Darmsaiten

bespannten Instrumente, wenn der Feuchtigkeitsgehalt der Luft zunimmt? — 3. In welcher Weise mufs die Stimmung eines mit Stahlsaiten bespannten Instrumentes sich mit der Temp. ändern? — 4. Angenommen, eine Stahlsaite sei 30 cm lang und gebe den Ton c; wie lang mufs dann die andere sein, wenn sie das folgende g geben soll? (§ 92.) — 5. Wievielmal so lang müfste die eine gespannt sein als die andere, wenn sie bei gleicher Länge die erste Oktave der anderen geben sollte? — 6. Die Spannungen zweier ganz gleichen Saiten verhalten sich wie 36 : 81; wie verhalten sich dann ihre Schwingungszahlen zu einander? — 7. Welchen Ton der Tonleiter giebt bei jenen Spannungen die stärker gespannte Saite an, wenn die schwächer gespannte den Ton c giebt? — 8. Wie müfsten sich die Spannungen zu einander verhalten, wenn die stärker gespannte den Ton a geben sollte?

§ 94. Tönende Luftsäulen. Flöten, Trompeten, Orgeln und andere Instrumente geben Töne, wenn sie mit dem Munde oder mittelst eines Blasebalges angeblasen werden. Alle *Blasinstrumente* lassen sich auf die beiden Hauptformen der *Lippen-* und *Zungenpfeifen* zurückführen.

Fig. 322.

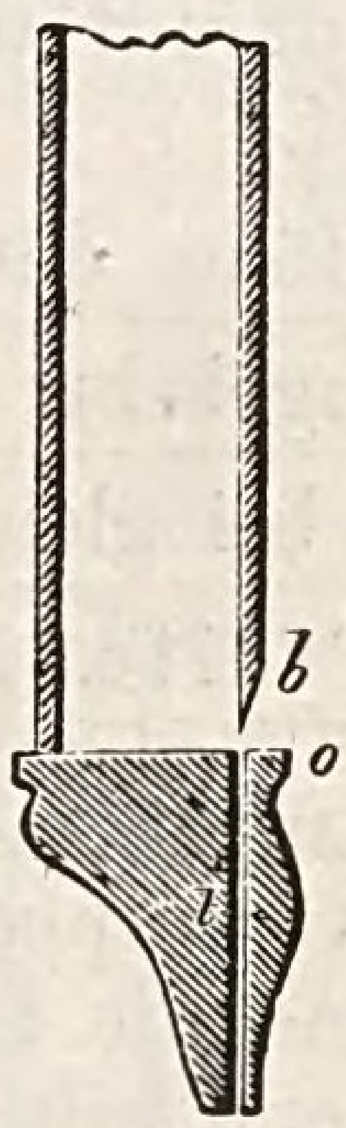
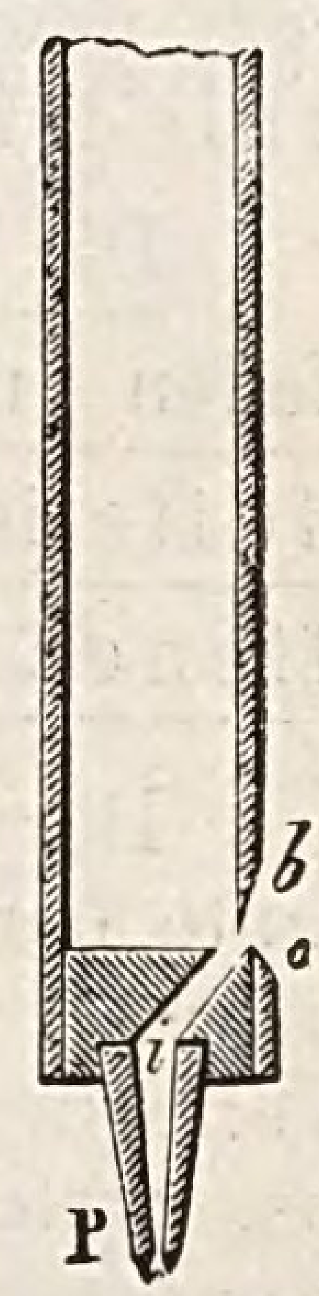


Fig. 323.



1. Lippenpfeifen, d. h. *Röhren, die zum Anblasen mit einem sogen. Fufse* (P) *versehen sind, über welchem eine Querspalte liegt* (Fig. 322 und 323). Letztere wird der *Mund,* die beiden ihn begrenzenden Platten (o und b) werden die *Lippen* der Pfeife genannt. Die obere Lippe ist zugeschärft. Je nachdem die Pfeife oben offen oder geschlossen (gedeckt) ist, wird sie als offene oder gedeckte (auch gedackte) Pfeife bezeichnet.

Versuch a. Wird in einer offenen Lippenpfeife nahe dem oberen Rande eine kleine Flamme angebracht (Fig. 325), so verkürzt und verlängert diese sich sehr schnell, während die Pfeife tönt. In einem um eine senkrechte Achse sich drehenden Spiegel (Fig. 324; a entspricht einem höheren, b einem tieferen Tone) erscheint die Flamme als ein regelmäfsig gezackter Lichtstreifen. An dieser Erscheinung ändert sich auch nichts, wenn man die Pfeife mit der Hand umfafst. — Hieraus geht hervor, dafs die Luft in der Pfeife sich auf- und abbewegt. Genaueres lehrt folgender Versuch:

Fig. 324.

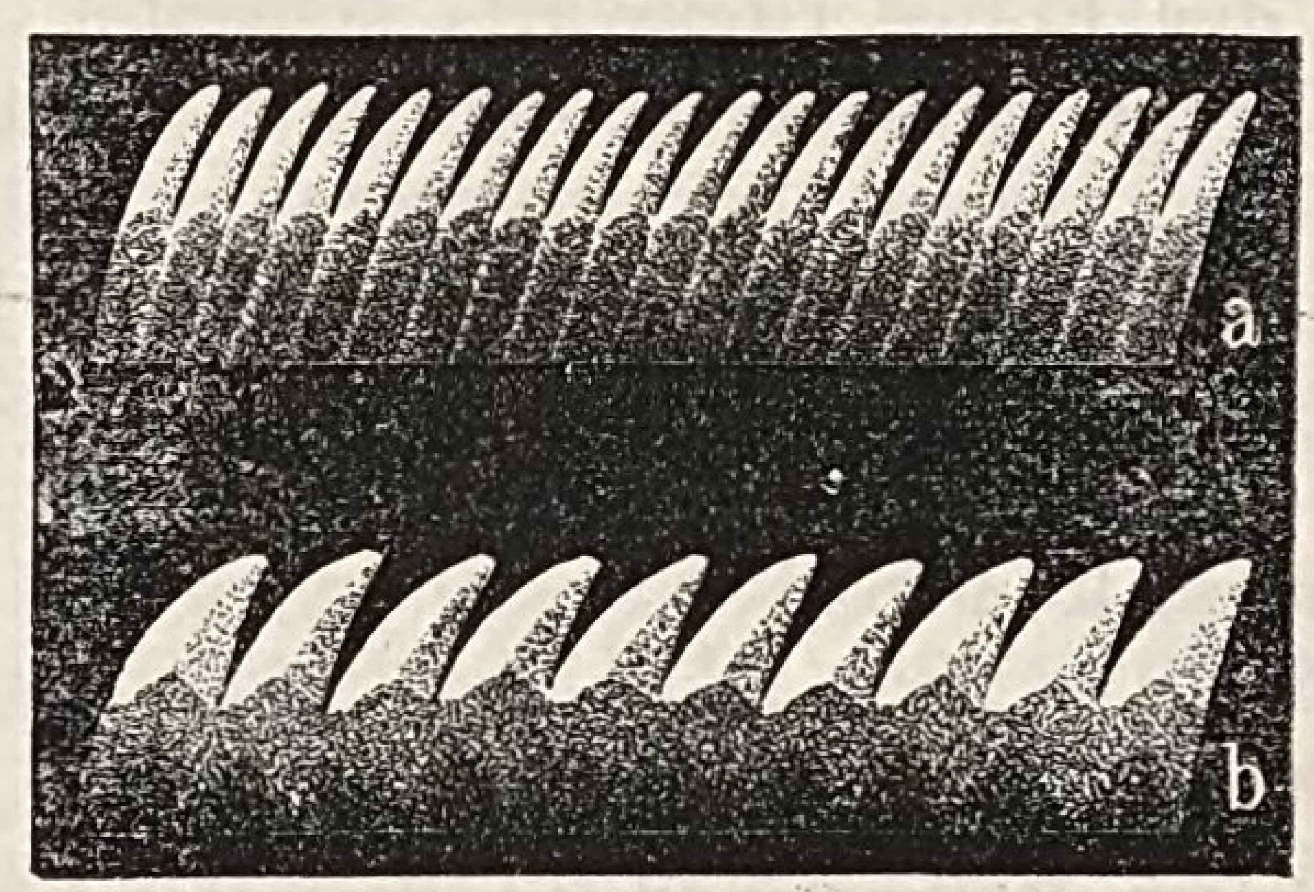


Fig. 325.

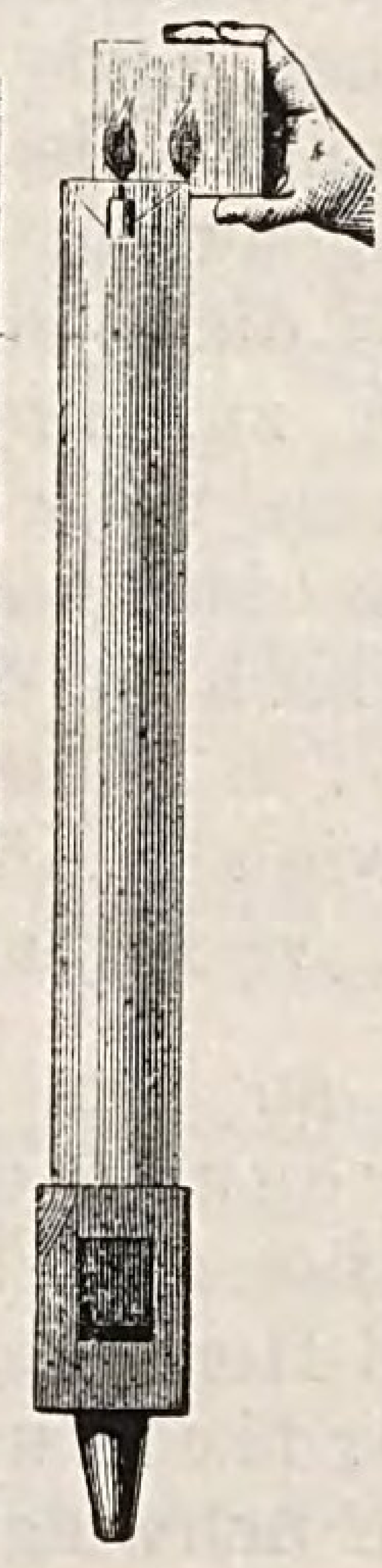
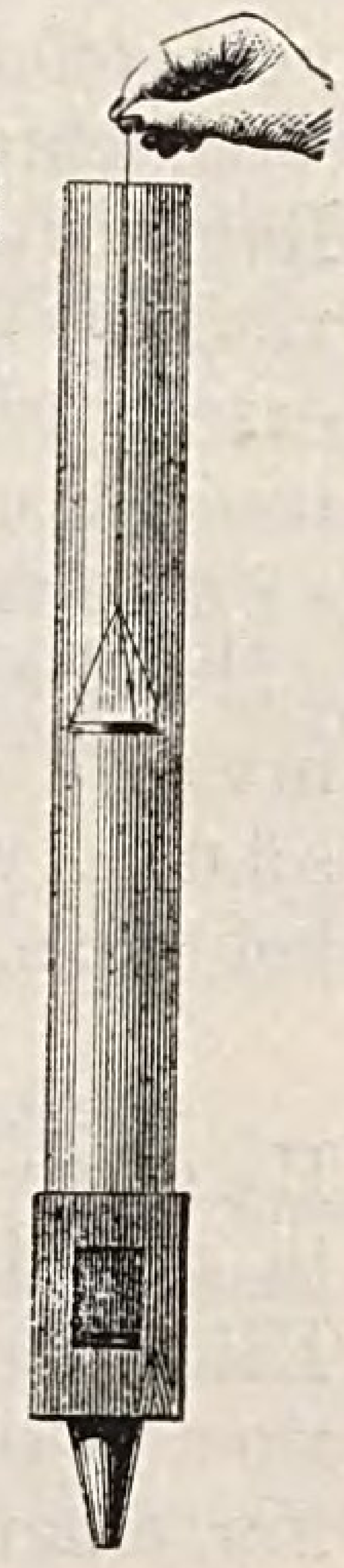


Fig. 326.



Versuch b. Ein rundes, mit einer dünnen Haut überspanntes Rähmchen wird, nachdem man die Haut mit feinem Sande bestreut hat, in eine tönende Lippenpfeife aus Glas hinabgelassen (Fig. 326); man nimmt eine wirbelnde Bewegung des Sandes

wahr, welche bei einer *offenen* Pfeife von oben bis etwa zur Mitte ab und von da bis zur Mundöffnung wieder zunimmt; bei einer *gedeckten* Pfeife dagegen nimmt die Bewegung von oben bis zur Mundöffnung zu, unter der Voraussetzung, daſs die Pfeife ihren Grundton angiebt (durch stärkeres Anblasen entstehen leicht Obertöne.)

Der Ton einer Pfeife entsteht durch regelmäſsige Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule; letztere schwingt bei Angabe des Grundtones der Pfeife in der gedeckten Pfeife als Ganzes, in der offenen Pfeife in 2 Teilen.

Versuch c. Bläst man mehrere offene Lippenpfeifen, deren Längen sich wie $1 : \frac{2}{3} : \frac{1}{2} : \frac{1}{4}$ verhalten, schwach an, so giebt die zweite die Quinte, die dritte die nächst höhere Oktave, die vierte die darauf folgende Oktave des Grundtones der ersten (längsten) Pfeife an. Bedeckt man darauf die Pfeifen, so wird jeder Ton um eine Oktave erniedrigt.

Die Höhe der Grundtöne von Lippenpfeifen ist der Länge der Pfeifen umgekehrt proportional. Der Grundton einer gedeckten Pfeife ist bei gleicher Pfeifenlänge um eine Oktave tiefer als der einer offenen Pfeife.

Der Luftstrom wird beim Anblasen der Pfeife durch die scharfe Kante der Oberlippe in 2 Teile geteilt, von denen einer in die Pfeife eindringt und die Luft darin verdichtet. Diese Verdichtung schreitet als Welle in der Pfeife fort und tritt an der Öffnung in die umgebende Luft aus, welche sich im Vergleich zu der eingeschlossenen Luft als ein dünneres Mittel ansehen läſst. Hinter der austretenden Welle aber wird eine Luftverdünnung entstehen, welche wie eine reflektierte Seilwelle vom offenen Ende der Röhre rückwärts schreitet und der wieder eine Verdichtungswelle folgt, indem in den mit verdünnter Luft erfüllten Raum von auſsen aufs neue Luft zuströmt. Da nun diese die Pfeife rückwärts durchlaufenden Wellen mit den durch fortgesetztes Anblasen erzeugten zusammenkommen und beide Wellenzüge sich gegenseitig beeinflussen, so wird die in der Röhre eingeschlossene Luftsäule in einen solchen Schwingungszustand versetzt, daſs alle Teilchen derselben gleichzeitig dieselbe Bewegung machen: es bilden sich **stehende Wellen.** Dadurch wird die Luftsäule (wie alle Körper, welche sich im Zustande stehender Schwingungen befinden, z. B. Saiten und Platten) ein selbsttönender Körper.

Da an den beiden Öffnungen der Pfeife die stärkste Hin- und Herbewegung der Luft stattfindet, so sind hier **Schwingungsbäuche;** in der Mitte der Pfeife (wenn dieselbe ihren Grundton giebt) kann keine Hin- und Herbewegung der Luft stattfinden, sondern nur ein Wechsel von Verdichtung und Verdünnung, diese Luftschicht bildet mithin einen **Schwingungsknoten.**

Da der Schwingungsknoten vom nächsten Schwingungsbauch um den vierten Teil einer ganzen Wellenlänge entfernt ist, wie sich am einfachsten aus der Betrachtung stehender Seilwellen ergiebt, so entspricht die halbe Länge der offenen Pfeife dem vierten Teil einer Wellenlänge; *die Wellenlänge selbst ist mithin gleich der doppelten Pfeifenlänge.*

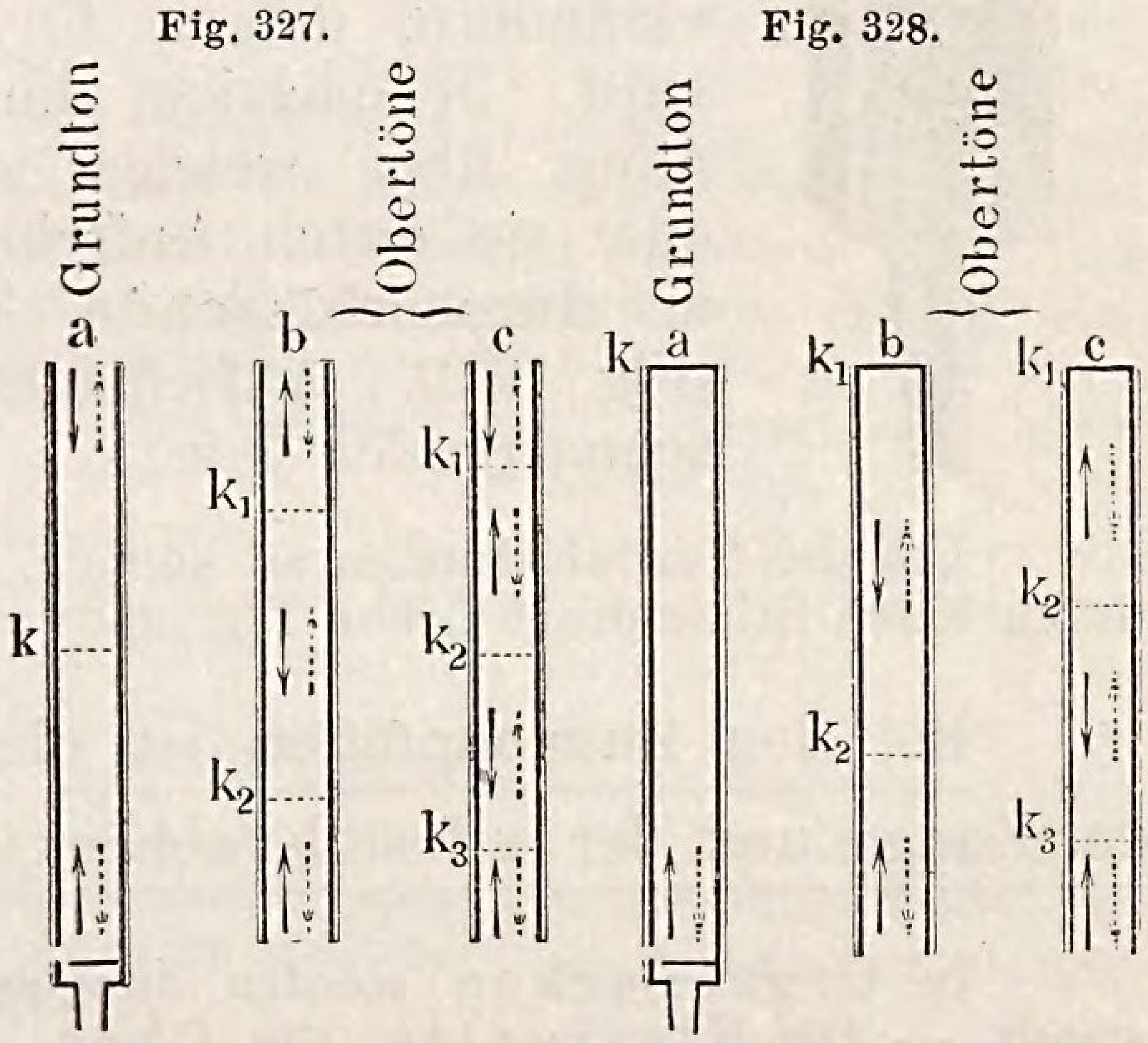
In Zeichen: $l = \frac{1}{2}\lambda$; $\lambda = 2l$.

Die Entstehung der Töne einer **gedeckten Pfeife** erklärt sich in derselben Weise nur mit dem Unterschiede, dafs am geschlossenen Ende ein Schwingungsknoten liegen mufs, da die Luftteilchen nicht entweichen können und demnach ein Schwingungsbauch sich hier nicht bilden kann. Ein solcher entsteht nur an der Mundöffnung der Pfeife und *somit entspricht die Pfeifenlänge dem Abstand von Schwingungsbauch zu Schwingungsknoten oder einer Viertelwellenlänge.*

Es ist demnach: $l = \frac{1}{4}\lambda$; $\lambda = 4l$.

Fig. 327 und 328 stellt die Luftbewegung in Pfeifen dar und zwar sowohl für den Grundton, als auch für Obertöne. Bei Angabe von *Obertönen* entstehen mehrere Knoten und zwar in der *offenen* Pfeife (Fig. 327) beim 1. Oberton in $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ der Länge, beim 2. Oberton in $\frac{1}{6}$, $\frac{3}{6}$ und $\frac{5}{6}$ der Länge; in der *gedeckten* Pfeife (Fig. 328) beim 1. Oberton in $\frac{1}{3}$ der Länge, beim 2. Oberton 2 Knoten in $\frac{1}{5}$ und $\frac{3}{5}$ der Länge. Zwischen den Knoten bewegt sich die Luft in der Richtung der Pfeile hin und her.

Fig. 327. Fig. 328.



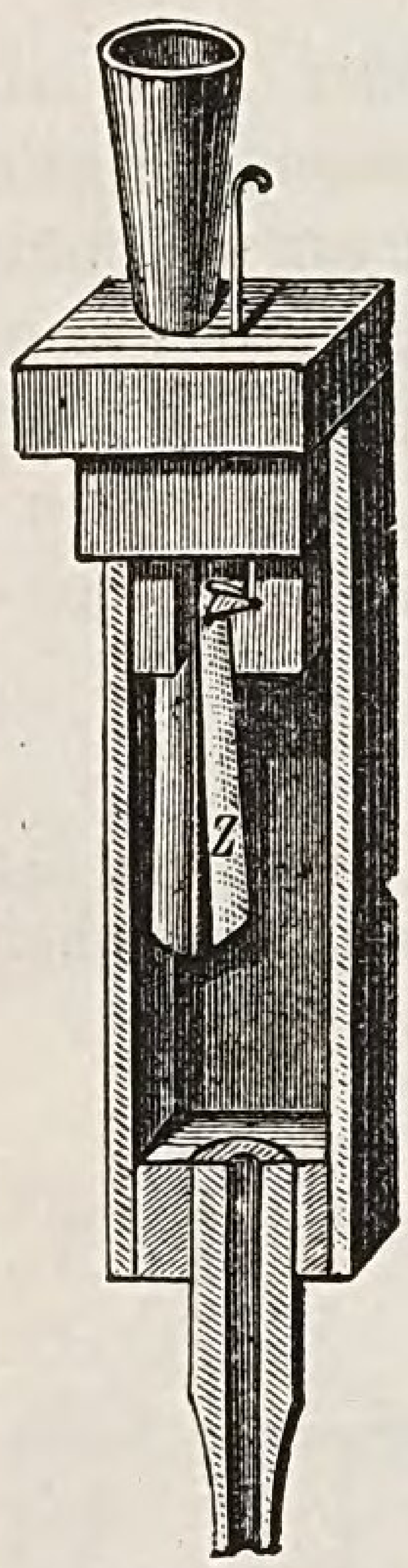
Das Vorhandensein eines Schwingungsknotens läfst sich aufser der in Versuch b beschriebenen Weise durch die *manometrischen Flammen* von König nachweisen: Die Wand einer Holzpfeife wird an den entsprechenden Stellen durchbohrt und jede Durchbohrung mit einer Kapsel überdeckt, deren Wand einen kleinen Gasbrenner enthält. Leitet man dann beim Tönen der Pfeife Leuchtgas in die Kapseln, so zuckt nur die am Schwingungsknoten befindliche Flamme heftig, was sich im rotierenden Spiegel durch ein gezacktes Flammenbild (siehe Fig. 324) zu erkennen giebt. Zu demselben Zwecke lassen sich auch die *Kundtschen Staubfiguren* verwenden. Eine ziemlich lange und an beiden Enden verschlossene Glasröhre wird durch kräftiges Reiben zum Tönen gebracht, nachdem man ein leichtes Pulver, etwa Bärlappsamen, gleichmäfsig darin verteilt hat. Beim Tönen ordnet sich der Staub durch das Schwingen der eingeschlossenen Luft so, dafs man die Knoten und Bäuche deutlich daran erkennen kann. (Das Glas macht hierbei Längsschwingungen.)

Die Luftsäule in einer beiderseits offenen Röhre kann auch durch eine Gasflamme, die nahe der unteren Öffnung in der Röhre brennt, zum Tönen gebracht werden (*singende Flamme* oder *Gasharmonika*).

Die Schwingungsgesetze tönender Luftsäulen ermöglichen eine einfache *Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles*, indem man mittelst einer Sirene die Schwingungszahl des Grundtones einer gedeckten Pfeife ermittelt und die Formel $c = n\lambda$ (§ 89a) anwendet. Wird die Pfeife mit irgend einem Gase, z.B. mit Kohlensäure, angeblasen, so läfst sich auf dieselbe Weise die Schallgeschwindigkeit in diesem Gase finden. Auch zur Bestimmung der Schallgeschw. in *flüssigen*

und festen Körpern läfst sich dieses Verfahren anwenden, indem man Stäbe oder Flüssigkeitssäulen in Längsschwingungen versetzt und so zum Tönen bringt. Je nachdem man einen Metallstab z. B. in der Mitte oder am Ende festhält und mit einem beharzten Läppchen der Länge nach streicht, bildet sich in der Mitte oder am Ende ein Schwingungsknoten, der Stab verhält sich also wie die Luftsäule in einer offenen oder in einer gedeckten Pfeife und demnach finden die Formeln $\lambda = 2l$ oder $\lambda = 4l$ Anwendung.

Fig. 330.



2. Zungenpfeifen. Bei den Zungenpfeifen entstehen die Töne dadurch, dafs ein Luftstrom durch eine Öffnung hindurchgeht und ähnlich wie bei der Sirene regelmäfsig unterbrochen wird. Letzteres geschieht durch schwingende Platten oder *Zungen* (Fig. 329).

Fig. 329.



Eine Zungenpfeife (Fig. 330) besteht aus einem *Fufse,* welcher die Zunge (z) enthält, und einem *Schallbecher.* Dieser dient zur Verstärkung des Tones, sowie dazu, den an Obertönen reichen und dadurch scharfen Ton des Zungenwerkes durch das Mitschwingen der eingeschlossenen Luftsäule so zu verändern, dafs er für die Zwecke der Musik geeigneter wird. Je nachdem die Zunge einer Pfeife durch die Öffnung, über welcher sie angebracht ist, hindurchschlägt oder sie durch Aufschlagen verdeckt, bezeichnet man sie als **durchschlagende** (Fig. 329) oder **aufschlagende Zunge** (Fig. 330). Aufschlagende Zungen erzeugen einen rauhen, schnarrenden Ton.

Um den Ton abstimmen zu können, läfst sich der schwingende Teil der Zunge durch einen Stimmdraht (siehe Fig. 330) verkürzen und verlängern.

Bei den **Zungenpfeifen** ist die Tonhöhe von den Schwingungen der Zunge und der Luftsäule abhängig.

In Orgelwerken werden Zungenpfeifen neben den Lippenpfeifen angewandt. — Die Klarinette, die Oboe, das Fagott und die Schalmei enthalten Zungen, welche aus Holz oder Rohr geschnitzt sind. Bei diesen Instrumenten hängt die Höhe des Tones jedoch nicht wie bei den Zungenpfeifen der Orgel wesentlich von der Zunge, sondern fast allein von der schwingenden Luftsäule ab, welche sich zur Erzeugung verschiedener Töne durch Öffnen und Schliefsen von Klappen oder Löchern verkürzen und verlängern läfst. Bei Waldhörnern, Trompeten und Posaunen werden die schwingenden Platten durch die in das Mundstück geprefsten Lippen der Bläser gebildet, die Höhe und Tiefe der Töne kann dabei durch die Stärke des Anblasens, durch zeitweiliges Verschliefsen der trichterförmigen Öffnung oder auch durch Verlängerung oder Verkürzung des Rohres bewirkt werden. Obgleich diese Instrumente (namentlich das Waldhorn) aus gewundenen Röhren bestehen, so geben sie doch dieselben Töne, welche gerade Röhren von der gleichen Länge geben würden.

Das **Stimmorgan des Menschen** ist eine Zungenpfeife mit zwei häutigen (membranösen) Zungen, den Stimmbändern. Dieselben sind zwischen den Knorpeln des Kehlkopfes am obern Ende der Luftröhre ausgespannt und verschliefsen diese bis auf eine schmale Spalte, die Stimmritze.

Durch das Schwingen der Stimmbandränder entsteht ein Ton, dessen Höhe von der Beschaffenheit und Spannung der Stimmbänder, dessen Klang aber wesentlich von der Gröfse und Gestalt der Mundhöhle abhängt. Der Luftstrom, welcher die Stimmbänder in Schwingungen versetzt, entsteht dadurch, dafs die Luft aus den beiden Lungen, welche sich ausdehnen und wieder zusammenziehen, durch Luftröhre und Kehlkopf geprefst wird. Die Lungen lassen sich daher mit zwei Blasebälgen vergleichen, während die Luftröhre den Fufs und der Mund den Schallbecher einer Zungenpfeife darstellen.

Der tiefste Ton, welchen Männerstimmen noch zu singen vermögen, hat 60, der höchste kaum 600 Schwingungen in 1 Sekunde; der höchste Ton einer Frauenstimme hat ungefähr 1600 Schwingungen.

Übungsstoff. **1.** Welche musikalischen Instrumente (Kinderspielzeuge) sind Lippenpfeifen und welche sind Zungenpfeifen? Wie verändert man den Ton derselben? — **2.** Für das tiefste sogen. Subkontra-C würde eine offene Pfeife 10 m, für das höchste sogen. 5-gestrichene d eine gedeckte Pfeife 2 cm lang sein müssen. Welche Länge müssen sie haben, wenn man erstere deckt und letztere öffnet? — **3.** Wv. ganze und halbe Wellen können nach Fig. 327 und 328 a. in einer offenen, b. in einer geschlossenen Pfeife entstehen? — **4.** Drücke alles in halben Wellen aus und vergleiche die Zahlen mit der Anzahl der halben Wellen des Grundtones beider Pfeifen. — **5.** Bei welcher Pfeife bilden hiernach die Schwingungszahlen der Obertöne nur ungerade, bei welcher dagegen auch gerade Vielfache der Schwingungszahl des Grundtones? (Letzteres ist der Grund, warum derartige Pfeifen einen volleren Klang haben.) — **6.** Wie läfst sich aus der Länge einer offenen oder gedeckten Lippenpfeife die Länge der fortschreitenden Luftwelle desselben Tones und (mit Benutzung der Zahl für die Fortpflanzungsgeschw. des Schalles) die Schwingungszahl des Tones berechnen? (Erfahrungsgemäfs nur dann genau genug, wenn die Pfeife nicht sehr weit ist und ihre Wände parallel sind. Erweiterung nach oben erhöht den Ton, Verengung vertieft ihn.) — **7.** Wie ferner aus der Schallgeschw. und der durch eine Sirene bestimmten Schwingungszahl eines Tones die Länge der offenen Pfeife, für welche dieser Ton der Grundton ist? (Erfahrungsgemäfs mufs die Pfeife soviel kürzer sein, als ihre doppelte Tiefe beträgt, d. h. der doppelte Abstand des Mundes von der Hinterfläche der Pfeife.) — **8.** Welchen Ton giebt eine 80 cm lange offene Orgelpfeife, wenn sie mit Wasserstoff angeblasen wird und die Schallgeschw. in diesem Gase 3,8 mal so grofs ist als in der Luft? — **9.** Wie grofs ist die Geschw. des Schalles im Stahl, wenn ein an einem Ende eingeklemmter uud in Längsschwingungen versetzter Stahlstab von 2,75 m Länge einen Ton angiebt, welcher dem c'' nahe kommt?

§ 95. Resonanz und Mittönen. Klangfarbe. Interferenz. Die Tonverstärkung, welche eintritt, wenn man eine tönende Stimmgabel mit ihrem Fufse auf eine Tischplatte stellt, hat ihre Ursache darin, dafs die Platte die Schwingungen der Stimmgabel mitmacht, sodafs weit mehr Luftteilchen zugleich in schwingende Bewegung versetzt werden als durch die Stimmgabel allein. In gleicher Weise wirken die Resonanzböden der Klaviere, sowie die Resonanzkasten der Saiteninstrumente. Während die Saiten derselben die Luft durchschneiden, ohne sie stark zu erschüttern, wird durch das Mitschwingen der mit ihnen verbundenen Platten und der von dem Kasten eingeschlossenen Luft eine gröfsere Luftmasse in Bewegung gesetzt und dadurch dem Tone die erforderliche Kraft und Fülle gegeben. Ein selbständiges Tönen des mitschwingenden Körpers findet dabei nicht statt. Ohne eine solche Tonverstärkung würden feste Tonerreger von geringer Ausdehnung für die Zwecke der Musik unbrauchbar sein.

Ist ein Körper vielfacher Schwingungen fähig, so können durch ihn verschiedene an sich schwache Töne dadurch sehr verstärkt werden, dafs der Tonerreger den Körper zum Mitschwingen anregt: **Resonanz.**[1])

Gewisse Erscheinungen (Klirren der Fenster beim Abfeuern grofser Geschütze, bei heftigen Donnerschlägen u. s. w.) beweisen, dafs auch durch die Wellenzüge, welche den Schall in der Luft fortpflanzen, Körper in schwingende Bewegung versetzt werden können. In gewissen Fällen kann auf diese Weise sogar ein selständiges Tönen des mitschwingenden Körpers erfolgen, wie sich bei Saiteninstrumenten wahrnehmen läfst, wenn in ihrer Nähe starke Töne hervorgerufen werden. So hört man z. B. in einem geöffneten Klavier gewisse Saiten deutlich erklingen, wenn man einen Ton kräftig in das Instrument hineinsingt. Sehr auffällige Erscheinungen dieser Art zeigen folgende Versuche.

Versuch a. Werden 2 Stimmgabeln, welche auf kleinen, dünnwandigen Holzkästen (Fig. 331) von passender Gröfse befestigt sind und genau denselben Ton angeben, so aufgestellt, dafs die offenen Enden der Kästen einander zugewandt sind, so tönt die eine Stimmgabel nicht nur mit, wenn die andere zum kräftigen Tönen gebracht wird, sondern sie setzt das Tönen auch noch fort, wenn letztere zu tönen aufhört. Erniedrigt man darauf den Ton einer der beiden Gabeln durch eine geringe Belastung eines Zinkens (Ankleben von Wachs), so tritt das Mittönen nicht ein.

Fig. 331.

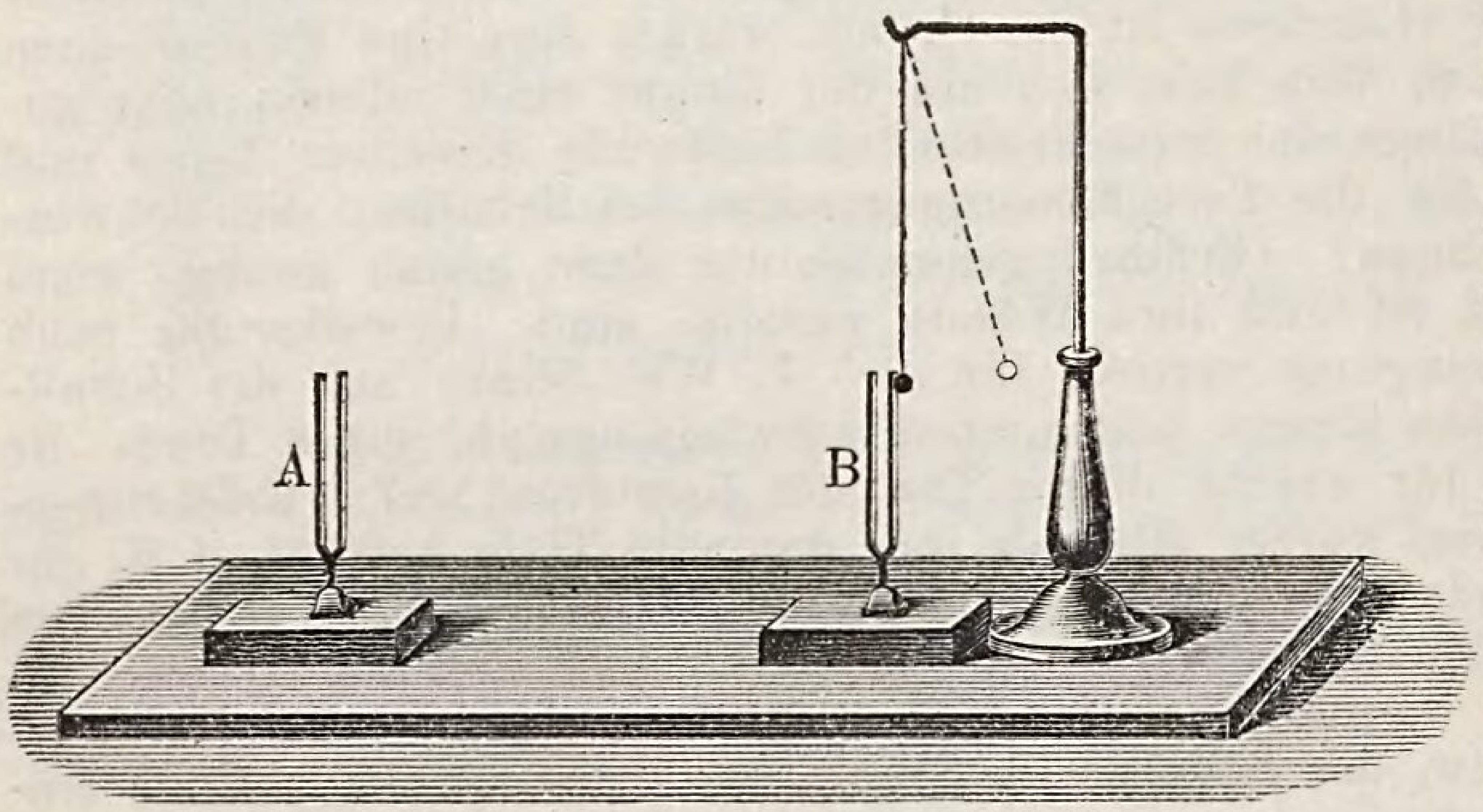
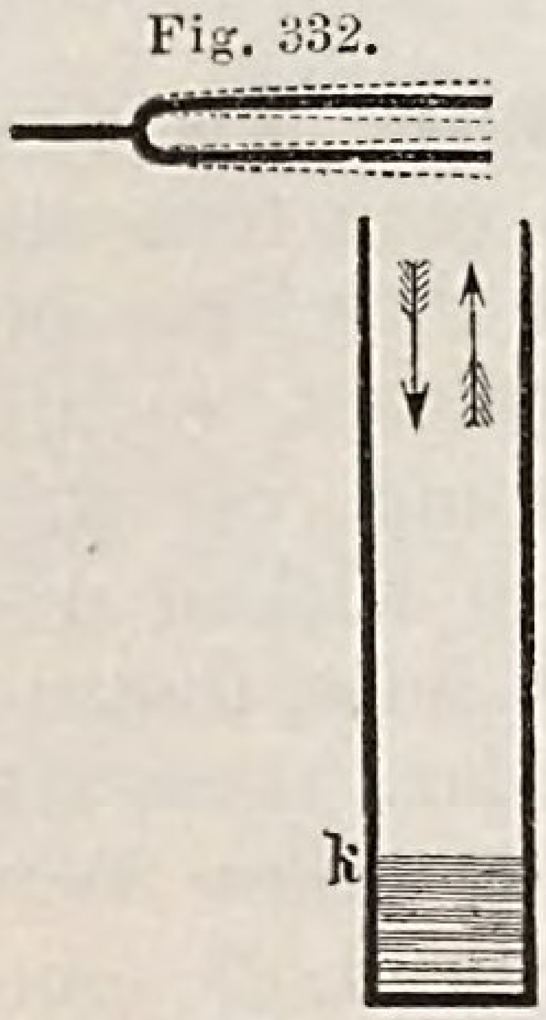


Fig. 332.



Versuch b. Hält man eine tönende Stimmgabel über die Mündung eines ungefähr 25 cm hohen Glascylinders (Fig. 332), so klingt der Ton bedeutend kräftiger, wenn man bis zu einer gewissen Höhe Wasser in den Cylinder giefst. Diese Erscheinung erklärt sich daraus, dafs die im Cylinder enthaltene Luft in ebensolche Schwingungen versetzt wird, wie die Luftsäule in einer gedeckten Lippenpfeife, welche den Stimmgabelton als ihren Grundton angiebt.

Durch Rechnung ergiebt sich für die zum Mitklingen bei dem Stimmgabelton a′ erforderliche Luftsäule eine Länge von $\frac{34000}{4.435}$ cm. Da stehende Wellen der Pfeifen

[1]) resonare, zurückschallen.

sich noch ein wenig über die Pfeife hinaus fortsetzen, so eignet sich für den Versuch besser eine etwas kürzere Luftsäule.

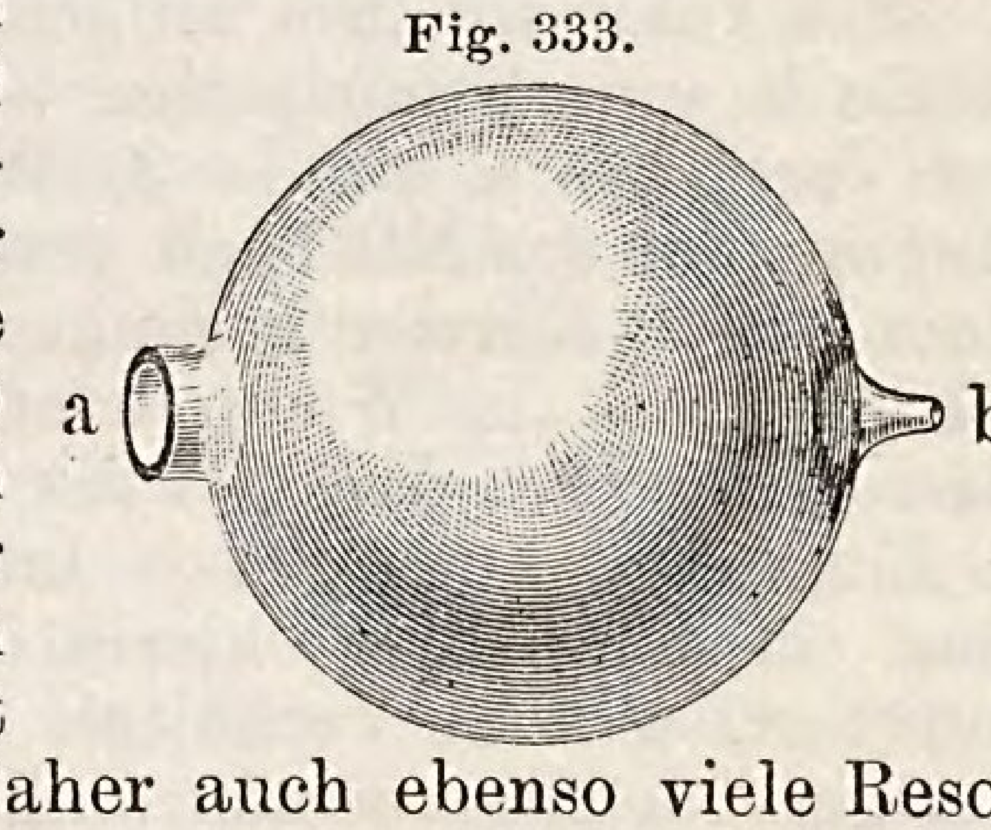
Durch die Schwingungen der den Schall fortpflanzenden Luft kann ein Körper, dessen Eigenton mit dem des Tonerregers übereinstimmt, zum selbständigen Tönen angeregt werden: **Mittönen.**

Bekanntlich klingt ein und derselbe Ton ganz verschieden, je nachdem er gesungen, auf einer Flöte oder einer Trompete geblasen, auf einer Geige angestrichen, auf einem Klavier angeschlagen wird u. s. w. *Man nennt diesen von der Beschaffenheit des Tonerregers abhängigen Charakter des Tones* **Klangfarbe.** Dieselbe erklärt sich nach sehr sorgfältigen Untersuchungen im wesentlichen daraus, dafs die gewöhnlichen Tonerreger aufser dem deutlich hörbaren Grundtone noch Neben- oder Obertöne erklingen lassen, welche je nach der Beschaffenheit der Tonerreger sehr verschieden sein können.

Die Klangfarbe der Töne ist durch die Zahl, Höhe und Stärke der dem Grundtone beigemischten Obertöne bestimmt.

Die Obertöne eines einfach erscheinenden Klanges lassen sich gesondert wahrnehmen, wenn man die von Helmholtz erfundenen **Resonatoren** zu Hilfe nimmt. Die Resonatoren sind Hohlkugeln (Fig. 333), oder cylindrische Röhren von Glas, Blech oder Pappe mit zwei einander gegenüberliegenden Öffnungen, von denen die eine (gewöhnlich mit einem kleinen Ansatzrohr versehene) an das Ohr gehalten wird. Jeder Resonator ist auf einen gewissen Ton abgestimmt; durch das Mitschwingen der im Resonator enthaltenen Luftsäule wird dieser Ton derart verstärkt, dafs er aus einem Klange herausgehört werden kann. Zum Nachweis mehrerer Obertöne sind daher auch ebenso viele Resonatoren erforderlich.

Fig. 333.



Ein Ton klingt weich, wenn er einfach ist oder wenigstens keine höheren Obertöne enthält, z. B. der durch Mittönen einer Luftsäule verstärkte Stimmgabelton, der Laut U der menschlichen Stimme. Fast frei von Obertönen ist auch der Ton einer Flöte oder einer ziemlich weiten, gedeckten Lippenpfeife. Der Klang eines Tones ist scharf (z.B. der Trompetenton), wenn demselben zahlreiche hohe, unharmonische Obertöne beigemischt sind. Sind die Obertöne im Verhältnis zum Grundtone sehr schwach, so klingt der Ton hohl (z. B. Fagott oder Oboe) u. s. w. Auch die Verschiedenheiten im Klange der menschlichen Stimme haben in der Beimischung von Obertönen ihren Grund; letztere werden durch die Gröfse und Gestalt der Mundhöhle bedingt. Aufser den jedem Menschen eigentümlichen Obertönen können durch besondere Mundstellungen einem jeden Tone noch gewisse Obertöne beigemischt sein. Hieraus erklärt sich die Entstehung der Vokalklänge, während die Konsonanten Geräusche verschiedener Art sind.

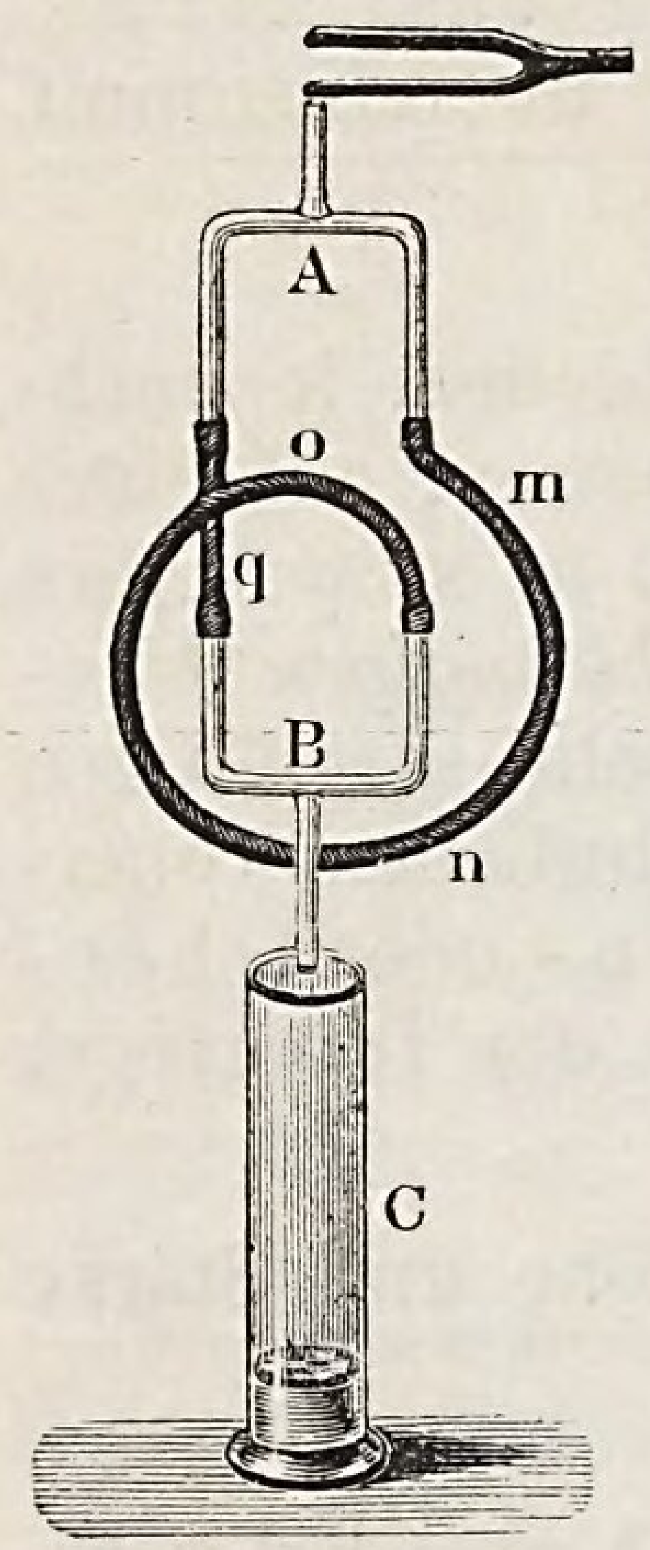
Die Entstehung der Klangfarbe wurde von Helmholtz (1858) zuerst nachgewiesen (Klanganalyse).

Interferenz der Schallwellen. Wie bei durcheinander laufenden Zügen kreisförmiger Wasserwellen Wellenberg und Wellenthal sowohl Verstärkungen als Abschwächungen erfahren können (§ 89), so können auch bei Luftwellenzügen, wenn sie sich kreuzen, die Verdichtungen und Verdünnungen sich sowohl verstärken als vernichten. Dies läfst sich durch folgenden Versuch nachweisen.

Versuch c. Zwei etwa 10 mm weite gabelförmige Glasröhren (A und B, Fig. 334, folg. Seite) verbinde man in der angegebenen Weise durch Gummischläuche

miteinander, von denen der eine (mno) nahezu 40 cm (halbe Länge der fortschreitenden Welle des gewöhnlichen Stimmgabeltones) länger ist als der andere. Die eine der beiden Ansatzröhren halte man in einen nach Fig. 332 auf denselben Ton abgestimmten Resonator. Hält man dann eine kräftig angeschlagene Stimmgabel mit dem äufsersten Ende eines ihrer Zinken möglichst nahe vor die Mündung der anderen Ansatzröhre, so hört man den Ton nur dann deutlich, wenn man den längeren Verbindungsschlauch (mno) fest zusammendrückt.

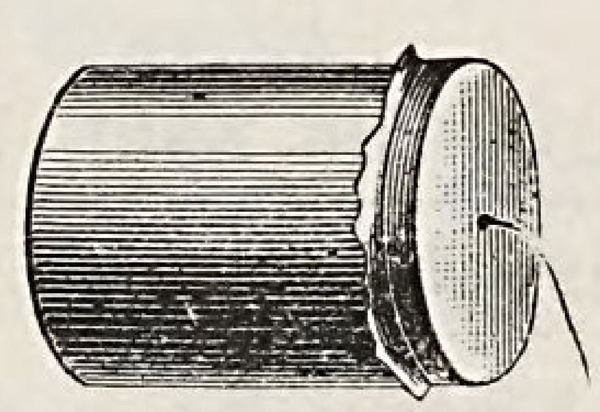
Fig. 334.



Dies erklärt sich daraus, dafs die Strecke AmnoB um eine halbe Wellenlänge des Stimmgabeltones gröfser ist als die Strecke AqB, sodafs die Luftschwingungen, wenn sie sich auf beiden Wegen fortpflanzen, bei B in entgegengesetzten Schwingungszuständen ankommen, d. h. so, dafs Verdichtung und Verdünnung zusammentreffen.

Übungsstoff. 1. Wenn man die elastischen, aus Tierblase oder Kautschuk bestehenden Böden zweier cylindrischen Blechbüchsen durch eine lange Schnur verbindet (Fig. 335), so erhält man einen Apparat, durch welchen ein in die Höhlung des einen Cylinders gesprochenes Wort vor dem anderen Cylinder auf weite Entfernung hin deutlich hörbar ist. Erkl.! — 2. Wie kann ein frei aufgehängter K. von ziemlich grofsem Gew. durch schwache Stöfse in eine pendelartige Bewegung versetzt werden? Wende dies auf die Ersch. des Versuches a an. — 3. Wie erklärt es sich, dafs eine geringe Belastung der Stimmgabel das Mittönen verhindern kann? — 4. Wie erklärt sich das Zurückhallen eines in ein Klavier gesungenen Tones und warum können dabei nicht alle Saiten erklingen? — 5. Wodurch erhalten die Töne der Stimmbänder des Kehlkopfes erst ihren Klang? Vorteil der Veränderlichkeit dieses natürlichen Resonators! — 6. Eingeschlossene dünne Luftsäulen erzeugen beim Schwingen leicht hohe Obertöne. Inwiefern liegt hierin der Grund dafür, dafs man z. B Trompeten aus Röhren anfertigt, die im Verhältnis zu ihrer Länge ziemlich dünn sind, bei Orgelpfeifen dagegen im allgemeinen entgegengesetzt verfährt? — 7. Inwiefern ist der Längenunterschied der beiden Schläuche (Fig. 334) von der Wellenlänge des Stimmgabeltones abhängig? — 8. Wv. Wellenzüge müssen in der Luft durch das Tönen einer Stimmgabel entstehen? — 9. Wie erklärt sich somit die Ersch., dafs der Ton einer senkrecht vor das Ohr gehaltenen Stimmgabel abwechselnd viermal stärker und viermal schwächer wird, wenn man die Gabel einmal um ihre Längsachse dreht?

Fig. 335.



IV. Abschnitt.

Die Lehre vom Lichte.

(Optik.)

(I. Lehrstufe, §§ 25—29.)

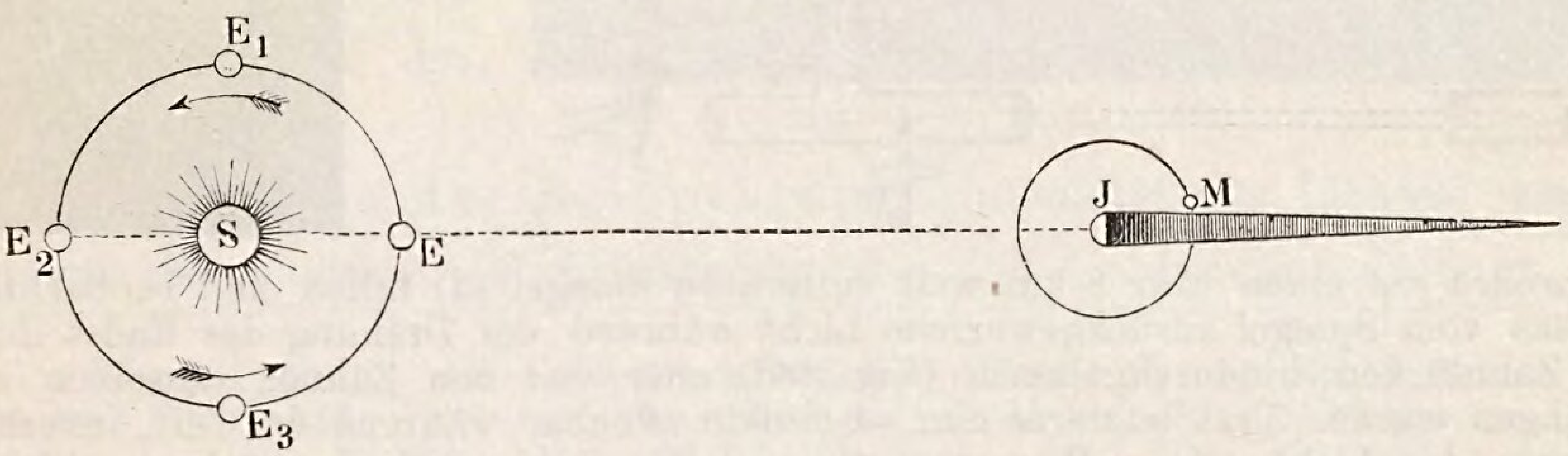
A. Geschwindigkeit und Stärke des Lichtes.

§ 96. Geschwindigkeit des Lichtes. Schon Galilei nahm an, dafs das Licht eine bestimmte Zeit nötig habe, um sich durch

den Raum fortzupflanzen und versuchte die Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen. Aber erst im Jahre 1676 gelang es dem Astronomen Römer, die Lichtgeschwindigkeit aus den Verfinsterungen eines Jupitermondes zu berechnen. Zur Beobachtung diente der dem Jupiter am nächsten stehende Mond, da er eine sehr kurze Umlaufszeit hat (annähernd nur $42\frac{1}{2}$ Stunden) und bei jedem Umlaufe durch den Kernschatten des Jupiters geht.

Fig. 336 stelle die Lage dar, welche die Sonne (S), die Erde (E), der Ju-

Fig. 336.



piter (J) und dessen erster Mond (M) im Weltraume gegeneinander einnehmen; die beiden Kreise mögen die Bahnen andeuten, in denen die Erde sich um die Sonne und der Mond sich um den Jupiter bewegt. Bewegt sich die Erde von E oder E_2 aus weiter, so bleiben die Entfernungen der Erde vom Jupiter offenbar zunächst unverändert, sie nehmen jedoch (von E aus) um so schneller zu und (von E_2) um so schneller ab, je mehr sich die Erde den Stellungen E_1 und E_3 nähert. Bewegt sich die Erde dagegen von E_1 aus weiter, so wird ihre Entfernung vom Jupiter während eines Mondumlaufes um 600000 Meilen gröfser. Zwischen zwei aufeinander folgenden Austritten verstrichen nun in diesem Falle beinahe 15 Sek. mehr, als die Berechnung ergeben hatte. Das Licht hatte demnach 15 Sek. nötig, um die Erde einzuholen und einen um 600 000 Meilen gröfseren Weg zurückzulegen. Hiermit stimmte das Ergebnis der von E_3 aus angestellten Beobachtungen überein, denn der Austritt erfolgte hier, wo die Erde sich während eines Mondumlaufes dem Jupiter um 600 000 Meilen näherte, 15 Sek. früher, als bei gleichbleibender Entfernung der Erde vom Jupiter.

Das Licht legt in einer Sekunde einen Weg von ungefähr 40000 geographischen Meilen oder 300 000 km zurück.

Nahezu dieselbe Geschwindigkeit fand 1728 der Astronom Bradley aus der von ihm entdeckten **Aberration des Lichtes** der Fixsterne. Diese Erscheinung besteht darin, dafs die Fixsterne zu verschiedenen Zeiten des Jahres nicht immer genau an derselben Stelle im Weltraume gesehen werden, sondern in derjenigen Richtung von ihrem wirklichen Orte ein wenig verschoben erscheinen, in welcher die Erde sich im Augenblicke der Beobachtung um die Sonne bewegt. Bradley erklärte dies daraus, dafs das Licht, indem es durch das zur Beobachtung dienende Fernrohr hindurchgeht, von der Achse des Rohres um einen sehr kleinen Winkel abgelenkt wird, ähnlich wie die Spur eines Regentropfens, welcher auf der Fensterscheibe eines im Fahren begriffenen Eisenbahnwagens hinabgleitet, von der senkrechten Richtung abweicht, sodafs also nach genauer Einstellung des Fernrohres die in der Richtung der Achse desselben hindurchgehenden Strahlen ebenso wenig ihren wirklichen Ausgangspunkt erkennen lassen, wie ein in der Richtung der Spur des Tropfens nach den Wolken sehendes Auge den richtigen Ausgangspunkt des Tropfens erblickt. Wie sich nun aus der Fahrgeschwindigkeit und dem Winkel, welchen die Spur des Tropfens mit der Senkrechten bildet, die Länge des in 1 Sek. vom Tropfen in Wirklichkeit zurückgelegten senkrechten Weges bestimmen lassen würde, wenn der Tropfen durch die Berührung mit der

Scheibe nicht im Fallen aufgehalten wäre, so läſst sich auch aus der Bahngeschwindigkeit der Erde und dem Aberrationswinkel (scheinbare Verschiebung des Gestirns aus seiner wirklichen mittleren Stellung) die Geschwindigkeit des Lichtes berechnen.†)

Die Geschwindigkeit des Lichtes irdischer Lichtquellen ist zuerst 1849 von Fizeau gemessen worden. Durch die Zahnlücken eines sehr schnell umlaufenden Zahnrades (R, Fig. 337) lieſs man Lichtstrahlen mit Hilfe zweier

Fig. 337.

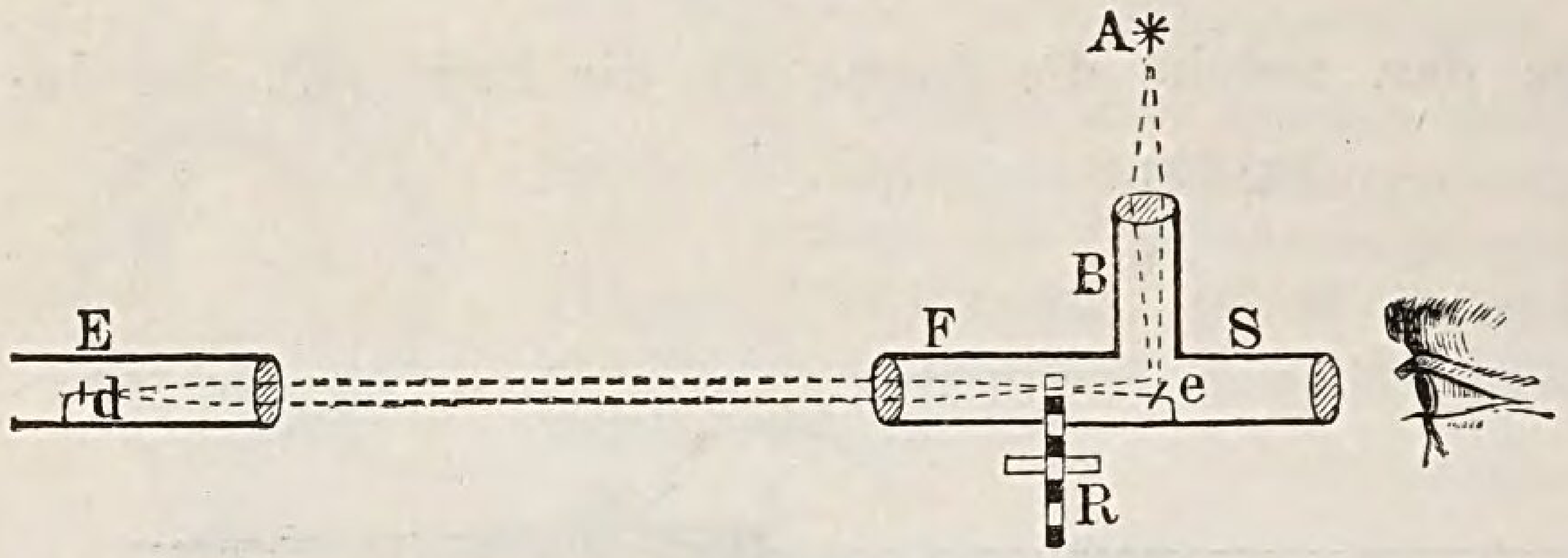


Fig. 338.



Fernrohre auf einen über 8 km weit entfernten Spiegel (d) fallen und beobachtete, ob das vom Spiegel zurückgeworfene Licht während der Drehung des Rades durch die Zahnlücken hindurchgelassen (Fig. 338) oder von den Zähnen desselben aufgefangen wurde. Trat letzteres ein, so muſste offenbar während der Zeit, innerhalb welcher das Licht seinen Weg zum Spiegel hin und wieder zurück durchlaufen hatte, an die Stelle der Lücke, durch die der Strahl hindurchgegangen war, ein Zahn getreten sein. (Die von der Lichtquelle A ausgehenden Strahlen traten seitlich in ein Fernrohr ein und wurden durch einen unter 45° gegen die Achse des Fernrohres FS geneigten Spiegel reflektiert.) Dadurch, daſs man nun aus der Zahl der Zähne und der Umdrehungsgeschwindigkeit des Rades den auſserordentlich kleinen Zeitraum berechnete, welcher verfloſs, während ein Zahn des Rades an die Stelle der benachbarten Lücke trat, und daſs man den während dieser Zeit vom Lichte zurückgelegten Weg genau bestimmte, ergab sich nahezu die obige Zahl für die Geschwindigkeit des Lichtes.

Übungsstoff. 1. Führe bekannte Erschn. an, aus denen geschlossen werden kann, daſs das Licht sich viel schneller fortpflanzt als der Schall. — 2. An einem 10 km entfernten Orte werde eine Kanone abgefeuert. Wie lange dauert es, bis man das Pulver aufblitzen sieht und wie lange, bis der Knall gehört werden kann? — 3. Wievielmal so groſs ist die Geschw. des Lichtes als die des Schalles? — 4. Wv. Zeit hat das Licht nötig, um vom Monde und von der Sonne zu uns zu gelangen, wenn der Mond 50 000 Meilen, die Sonne 20 Millionen Meilen von der Erde entfernt ist? — 5. Fizeau beobachtete bei der Bestimmung der Geschw. des Lichtes, daſs ein Zahnrad mit 720 Zähnen und 720 Lücken von Zahnbreite in 1 Sek. 12,6 Umläufe machen muſste, damit das Licht zum ersten Male verschwand. a. Der wievielte Teil von 1 Sek. war demnach nötig, damit an Stelle einer Lücke der nächstfolgende Zahn trat? b. Welchen Weg hatte das zurückgekehrte Licht zu durchlaufen, wenn der Spiegel d vom Fernrohre 8633 m entfernt war? c. Welcher Weg ergab sich hieraus für 1 Sek.? d. Um wv. war diese Geschw. gegen die oben angegebene zu groſs? (Spätere Versuche führten zu der oben angegebenen Zahl.)

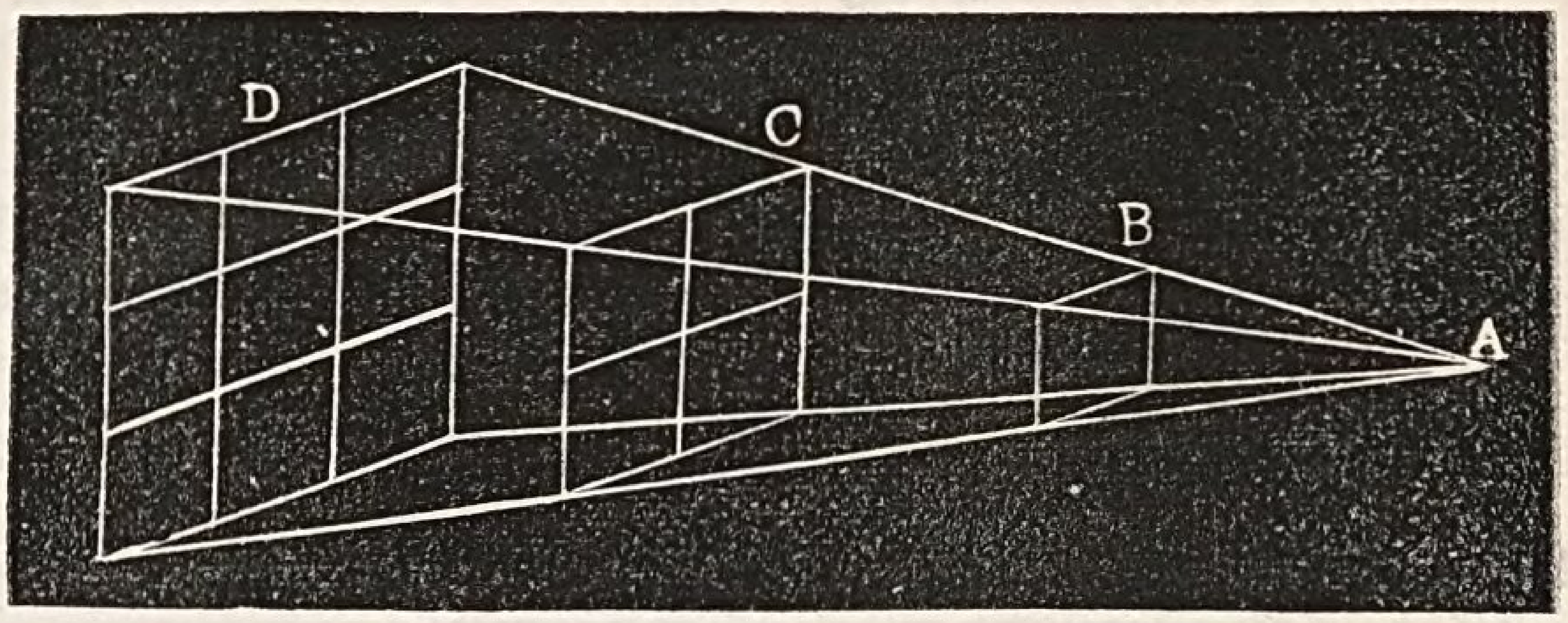
§ 97. Stärke der Beleuchtung. Photometer.

Die tägliche Erfahrung lehrt, daſs die Stärke der Beleuchtung mit der Entfernung von der Lichtquelle abnimmt. Dies ist durch Fig. 339

†) Die Bahngeschw. der Erde ist 29,5 km, der Aberrationswinkel 20,45 Bogensekunden, die Geschw. des Lichtes also gleich $\frac{29,5}{\text{tang } 20,45'} = \frac{29,5}{0,0001} = 295\,000$ km. Für die Astronomie ist die Aberration des Lichtes auch insofern von Wichtigkeit, als sie einen direkten Beweis für die Bewegung der Erde um die Sonne bietet.

veranschaulicht, nach welcher die von A ausgehende Lichtmenge infolge der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes in der 2- oder 3fachen Entfernung sich auf eine 4- oder 9mal so grofse Fläche verteilt und demnach auf gleichgrofse Flächen nur der vierte oder neunte Teil des Lichtes fällt.

Fig 339.



Die Stärke der Beleuchtung (Intensität des Lichtes) nimmt ab, wie das Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle zunimmt.

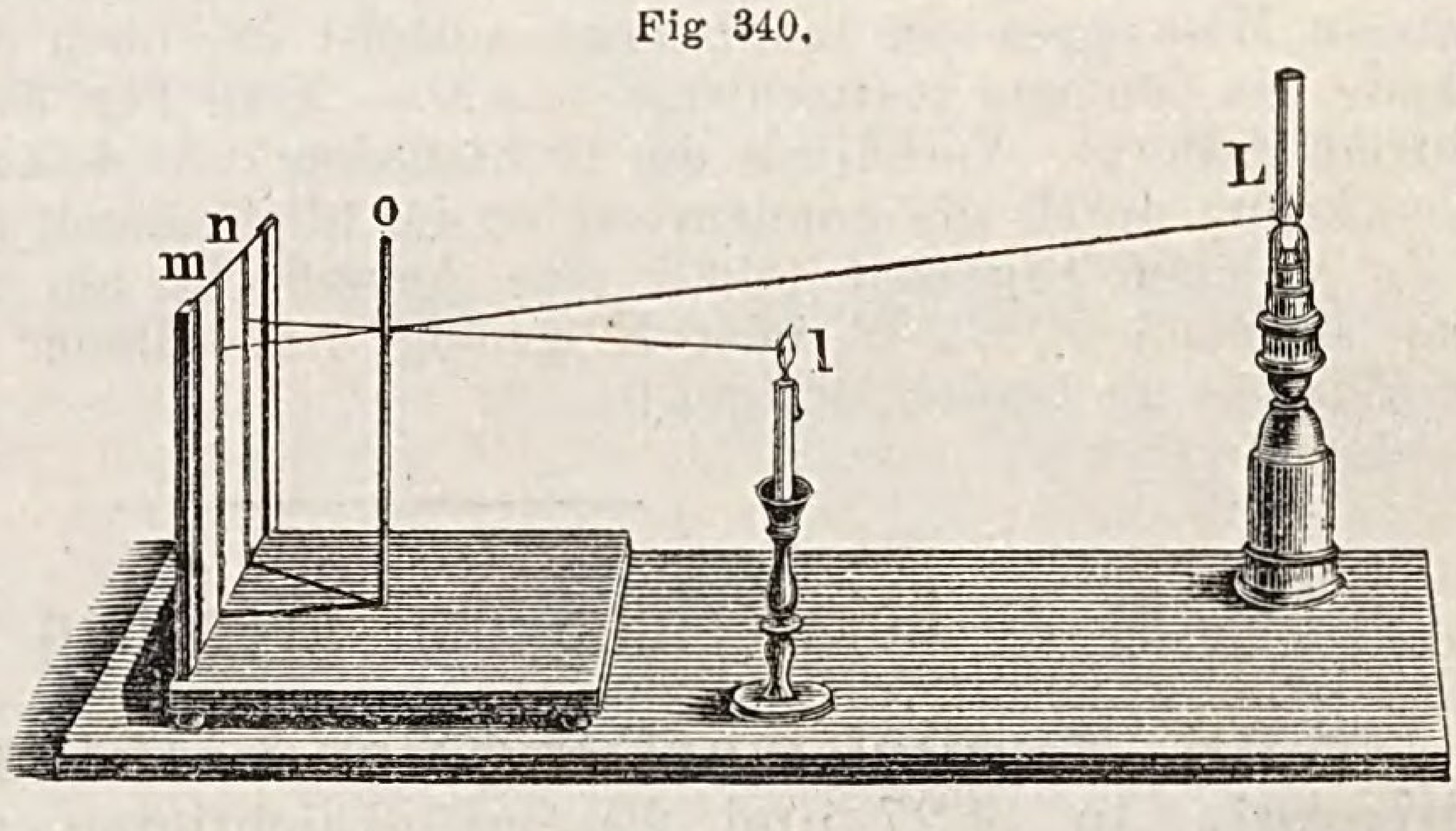
Wenn J und J_1 die Beleuchtungsstärken, E und E_1 die Entfernungen von derselben Lichtquelle oder von zwei gleichstarken Lichtquellen bedeuten, so ist in Zeichen: $J : J_1 = E_1^2 : E^2$.

Bem. Die Ausdrücke Stärke der Beleuchtung und Helligkeit dürfen nicht ohne weiteres für einander gesetzt werden. Sind die beleuchteten Flächen von verschiedener Beschaffenheit (etwa verschieden gefärbt oder die eine glatt und die andere rauh), so kann ihre Helligkeit bei gleichem Abstande von derselben Lichtquelle verschieden sein.

Instrumente, welche unter Anwendung des genannten Gesetzes dazu dienen, die Stärke zweier Lichtquellen miteinander zu vergleichen, werden **Photometer** *oder* **Lichtmesser** *genannt.*

Bei dem Photometer von Rumford (Fig. 340) werden die zu vergleichenden Flammen so aufgestellt, dafs die beiden Schatten m und n des Stabes o nebeneinander fallen und auf dem hellen Schirm gleichdunkel erscheinen. Da sie dann von den ihnen nicht zugehörigen Flammen gleichstark beleuchtet werden, so empfängt auch die Fläche des Schirmes von beiden Lichtquellen gleiche Lichtmengen, und die Lichtstärken beider Flammen verhalten sich dann wie die Quadrate ihrer Entfernungen vom Schirme.

Fig 340.

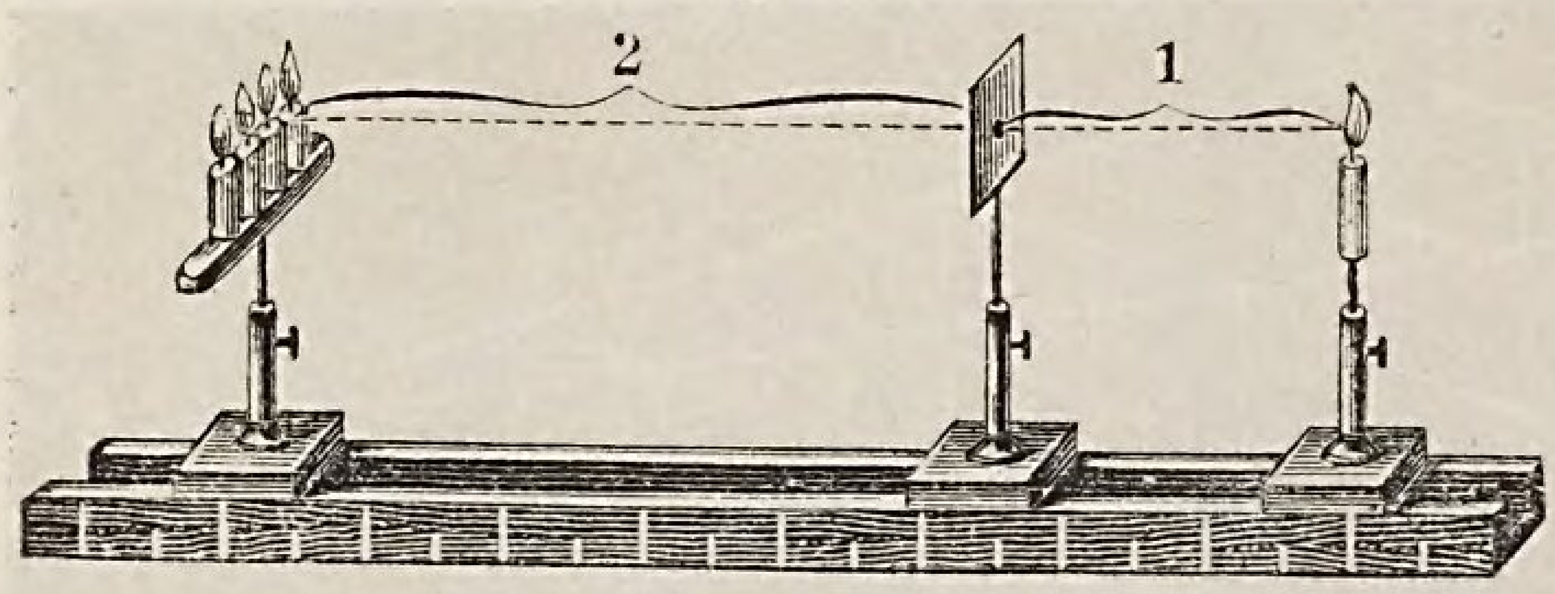


Die richtige Beurteilung wird hierbei dadurch erschwert, dafs die Schatten meist verschieden gefärbt erscheinen.

Um die Lichtstärken verschiedener Lichtquellen in Zahlen ausdrücken zu können, bezieht man sie auf die Lichtstärke von sogen. Normalkerzen (in Deutschland z. B. auf das Licht einer 2 cm dicken Paraffinkerze, deren Flamme 5 cm hoch ist).

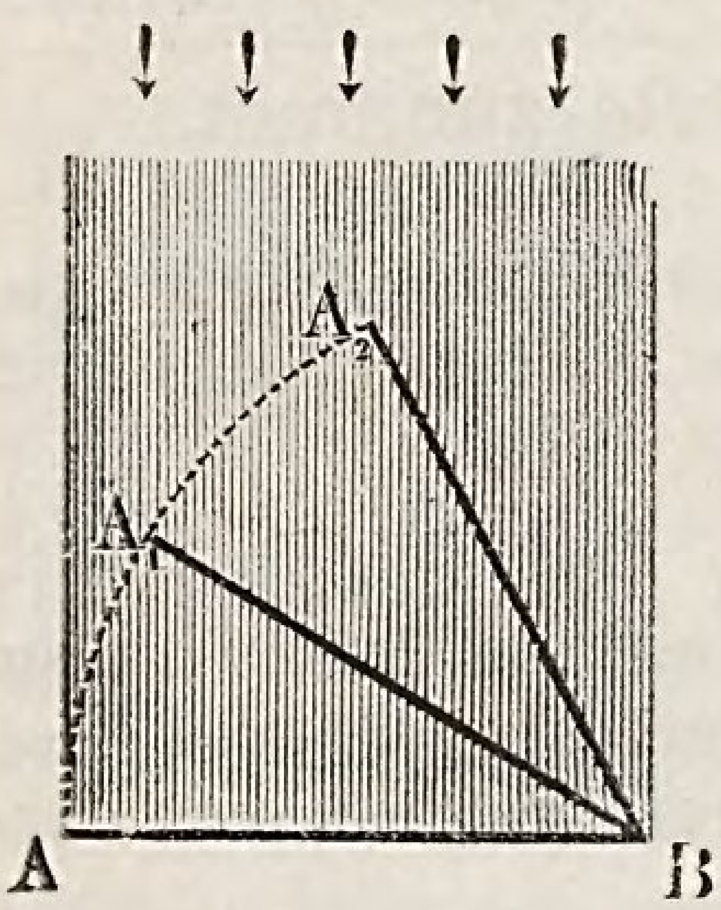
Das Photometer von Bunsen (Fig. 341) besteht aus einem Papierschirm, in dessen Mitte sich ein mit flüssigem Stearin gemachter Fettfleck befindet. Der Fleck erscheint hell oder dunkel, je nachdem der Schirm stärker von der Rückseite oder von der Vorderseite beleuchtet wird; er verschwindet, wenn die Beleuchtung von beiden Seiten gleichstark ist. Man verschiebt demnach auf der mit einer Centimeterteilung versehenen Latte den Schirm so lange, bis der Fleck verschwindet, und vergleicht dann die Entfernung beider Lichtquellen.

Fig. 341.



Bem. Durch Versuche mit dem Bunsenschen Photometer läfst sich das oben angeführte Gesetz über die Beleuchtungsstärke leicht bestätigen.

Fig. 342.



Die Beleuchtungsstärke ist nicht nur von der Entfernung der Lichtquelle, sondern auch von der Gröfse des Neigungswinkels der beleuchteten Fläche abhängig, d. h. des Winkels, den die Strahlen mit der Fläche bilden (Fig. 342). Je mehr sich dieser Winkel einem rechten nähert, desto mehr Strahlen fallen auf die Fläche.

Die Beleuchtungsstärke ist um so geringer, je schräger die Lichtstrahlen auffallen.†)

Übungsstoff. 1. Wievielmal so stark wird die Beleuchtung einer Fläche, wenn man die Lichtquelle von 2 m auf 0,5 m nähert? — 2. Warum müssen bei genauen Messungen der Lichtstärke mittelst der oben dargestellten Photometer die Wände des Zimmers mattschwarz sein? — 3. In Fig. 340 sei L 36, l nur 8 cm vom Schirme entfernt. Verhältnis der Lichtstärken? — 4. Zu welcher Tageszeit mufs die Beleuchtung durch die Sonnenstrahlen im allgemeinen am stärksten sein, u. w.? — 5. Zu welcher Tageszeit erhält eine Ackerfläche am meisten Licht und Wärme, wenn sie nach O., S., W. oder N. geneigt ist? (Dauer der Bestrahlung und Gröfse des Winkels zu berücksichtigen!)

B. Zurückwerfung und Brechung des Lichtes.

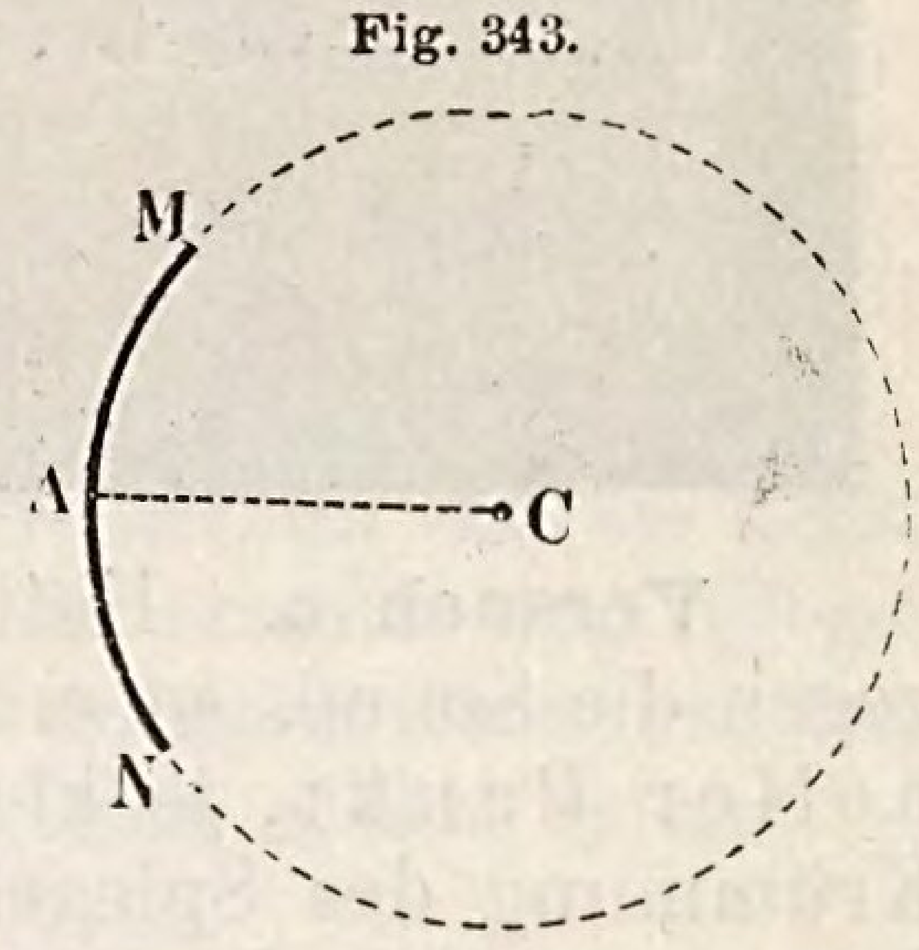
§ 98. Zurückwerfung des Lichtes durch gekrümmte Spiegel. In § 27 und 29 berücksichtigten wir nur solche Erscheinungen, welche entstehen, wenn die vom Lichte getroffenen Grenzflächen zweier Körper eben sind oder doch als ebene Flächen angesehen werden können. Von dieser Beschränkung sehen wir jetzt ab und dehnen unsere Betrachtung auf die einfachste gekrümmte Fläche, die Kugelfläche, aus.

†) Trigonometrisch: $J_1 : J_2 = \sin w_1 : \sin w_2$, wenn w_1 und w_2 die Neigungswinkel der Flächen A_1B und A_2B bezeichnen. (Man denke sich parallel zu AB Ebenen durch A_1 und A_2 gelegt, welche von denselben Strahlen getroffen werden, wie A_1B und A_2B).

Spiegel, deren Flächen so gekrümmt sind, dafs sie Abschnitte von Kugeln bilden, heifsen **Kugelspiegel** *oder* **sphärische Spiegel.**[1] *Je nachdem die spiegelnde Fläche hohl oder erhaben ist, unterscheidet man* **Hohl-** *oder* **Konkavspiegel**[2] *und* **erhabene** *oder* **Konvexspiegel.**[3]

Bei den Kugelspiegeln wird das Einfallslot eines Strahles von dem Kugelhalbmesser gebildet, der den Einfallspunkt des Strahles trifft. (Kugelradien stehen senkrecht auf den in ihren Endpunkten an die Kugelfläche gelegten Berührungsebenen.) — Aufserdem sind folgende besondere Bezeichnungen von Wichtigkeit:

Fig. 343.

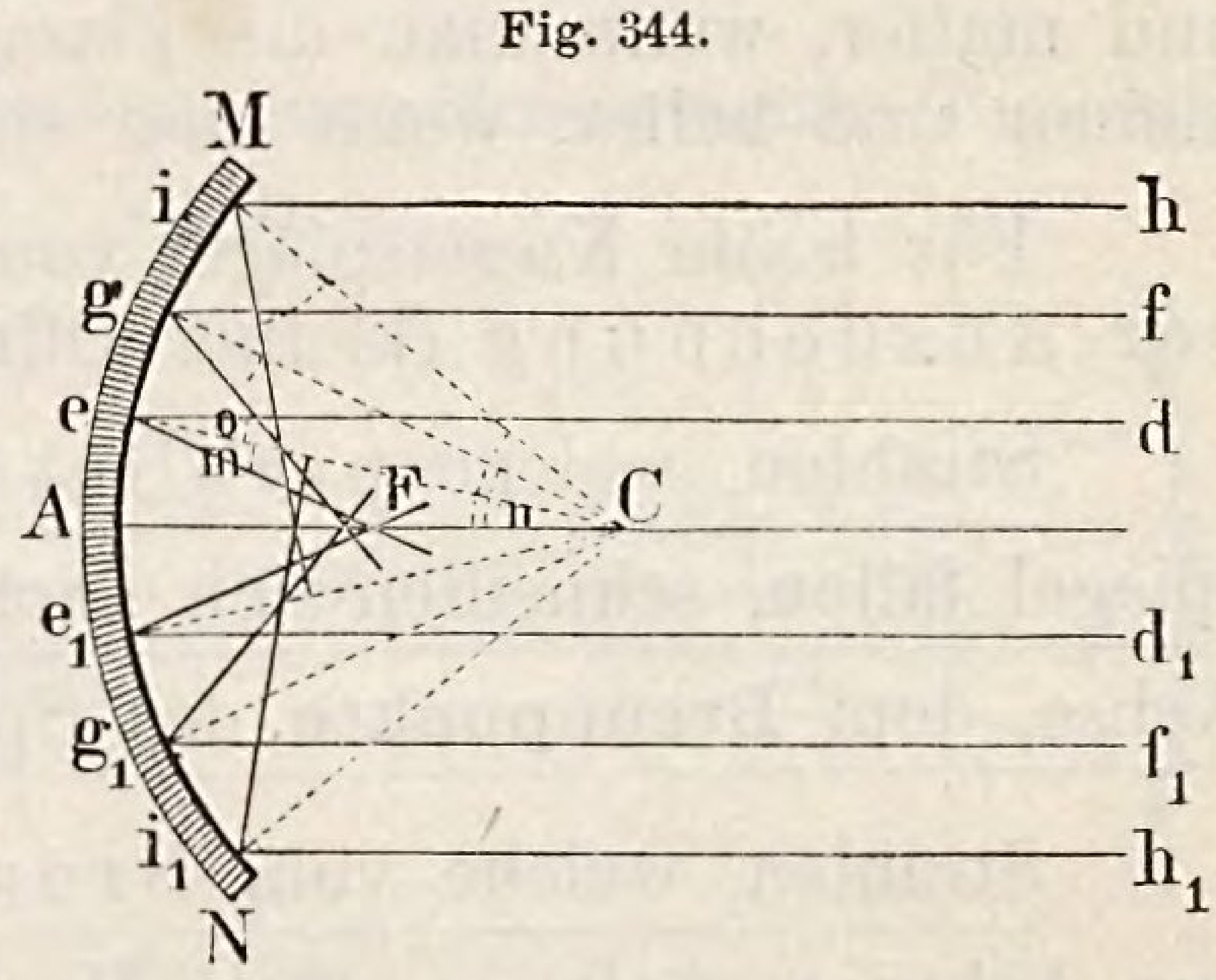


Die von der Mitte eines Kugelspiegels bis zum Mittelpunkte der Kugel gehende gerade Linie heifst **Achse des Spiegels** (AC, Fig. 343). *Der Mittelpunkt der Kugel wird* **Krümmungsmittelpunkt** *des Spiegels genannt. Strahlen, welche durch diesen Punkt gehen, heifsen* **Hauptstrahlen.**

1. Hohle Kugelspiegel (sphärische Konkavspiegel).

Der Spiegel MN (Fig. 344) werde parallel zur Achse AC von Sonnenstrahlen getroffen. Um zunächst die Richtung der zurückgeworfenen Strahlen zu bestimmen, denken wir uns nach den Fufspunkten der Strahlen die Einfallslote Ce, Cg u. s. w. gezogen. Da die Achse AC des Spiegels mit jedem der Strahlen und seinem Einfallslote in derselben Ebene liegt, so müssen *alle Strahlen nach ihrer Zurückwerfung die Achse schneiden,* und zwar müssen diejenigen, welche gleichweit von der Achse einfallen, nach ihrer Zurückwerfung denselben Punkt treffen. F sei ein solcher Schnittpunkt.

Fig. 344.



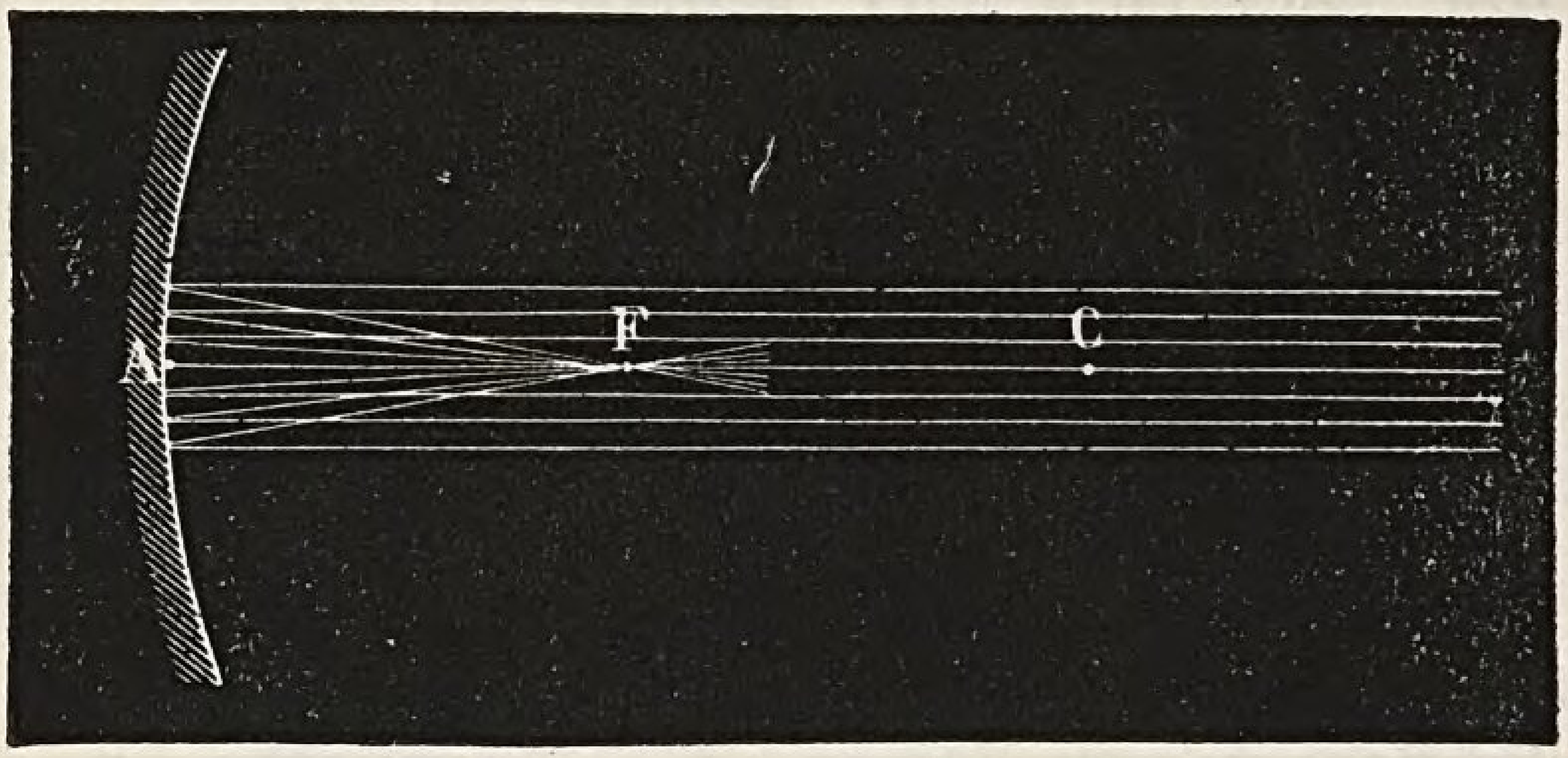
Zur genaueren Bestimmung der Lage dieser Schnittpunkte betrachten wir zunächst das Dreieck eFC, dessen Ecke e nahe bei A liegt. Dasselbe ist gleichschenklig, denn $\sphericalangle m = n$, da $\sphericalangle m = o$ und $\sphericalangle o = n$ ist (warum?); folglich FC = Fe. Je näher nun der Strahl de der Achse des Spiegels liegt, um so mehr wird Fe nahezu = FA, um so mehr also auch *FC = FA* oder *F die Mitte zwischen A und C.* Dies gilt für alle ebenso nahe einfallenden Strahlen. Je weiter aber der Strahl von der Achse AC entfernt liegt, desto mehr mufs Fe $>$ FA werden. Denn stellt man sich vor, der Strahl de ginge allmählich in die Lage fg und hi über, so würden immer neue gleichschenklige Dreiecke entstehen und zwar mit unveränderter Basis, aber mit wachsenden Basiswinkeln, also auch mit wachsenden Schenkeln. Die Spitzen dieser Dreiecke, d. h. die Punkte, in denen die zurückgeworfenen Strahlen die Achse schneiden, müssen somit dem Spiegel um so näher rücken, je weiter der einfallende Strahl von der Achse entfernt ist.

Bei schwächerer Krümmung des Spiegels würde das Wachsen der Winkel wegen der gröfseren Entfernung des Punktes C offenbar langsamer erfolgen. Die Schnittpunkte der Strahlen würden dann mehr in der Mitte von AC

[1] σφαίρα (sphaira), die Kugel; [2] concavus, hohl; [3] convexus, gewölbt.

zusammenfallen und bei kleiner Öffnung des Spiegels nur einen einzigen Punkt bilden (Fig. 345). Gingen die Strahlen umgekehrt von F aus, so würde der zunächst entstehende Strahlenkegel durch den Spiegel entgegengesetzt in ein Bündel paralleler Strahlen umgewandelt werden. Welchen Einfluſs müſste es auf die Richtung der Strahlen ausüben, wenn man den leuchtenden Punkt dem Spiegel näherte oder vom Spiegel etwa bis zum Krümmungsmittelpunkte entfernte? — Bestätigung:

Fig. 345.



Versuch a. Hält man einen hohlen Kugelspiegel (nach Fig. 345) gegen die Sonne, so erscheint mitten vor dem Spiegel ein um so kleinerer heller Punkt, je kleiner die spiegelnde Fläche und je schwächer die Krümmung des Spiegels ist. Papier entzündet sich an dieser Stelle. — Von demselben Punkte aus entsteht im verdunkelten Zimmer durch das Licht einer kleinen, aber möglichst hellen Kerzenflamme auf einem weiſsen Papierschirm ein heller Schein, der die Gestalt und auch nahezu die Gröſse des Spiegels hat. Dieser Lichtschein wird gröſser, und matter, wenn man die Flamme dem Spiegel mehr nähert, dagegen kleiner und heller, wenn man sie weiter vom Spiegel entfernt.

Für hohle Kugelspiegel von flacher Krümmung und geringer Ausdehnung (kleiner Öffnung) gelten somit folgende Sätze:

Strahlen, welche parallel zur Achse auf einen hohlen Kugelspiegel fallen, schneiden sich nach ihrer Zurückwerfung in der Mitte der Achse, dem **Brennpunkte** des Spiegels.

Strahlen, welche vom Brennpunkte ausgehen, werden parallel zur Achse zurückgeworfen. Hauptstrahlen fallen in sich selbst zurück.

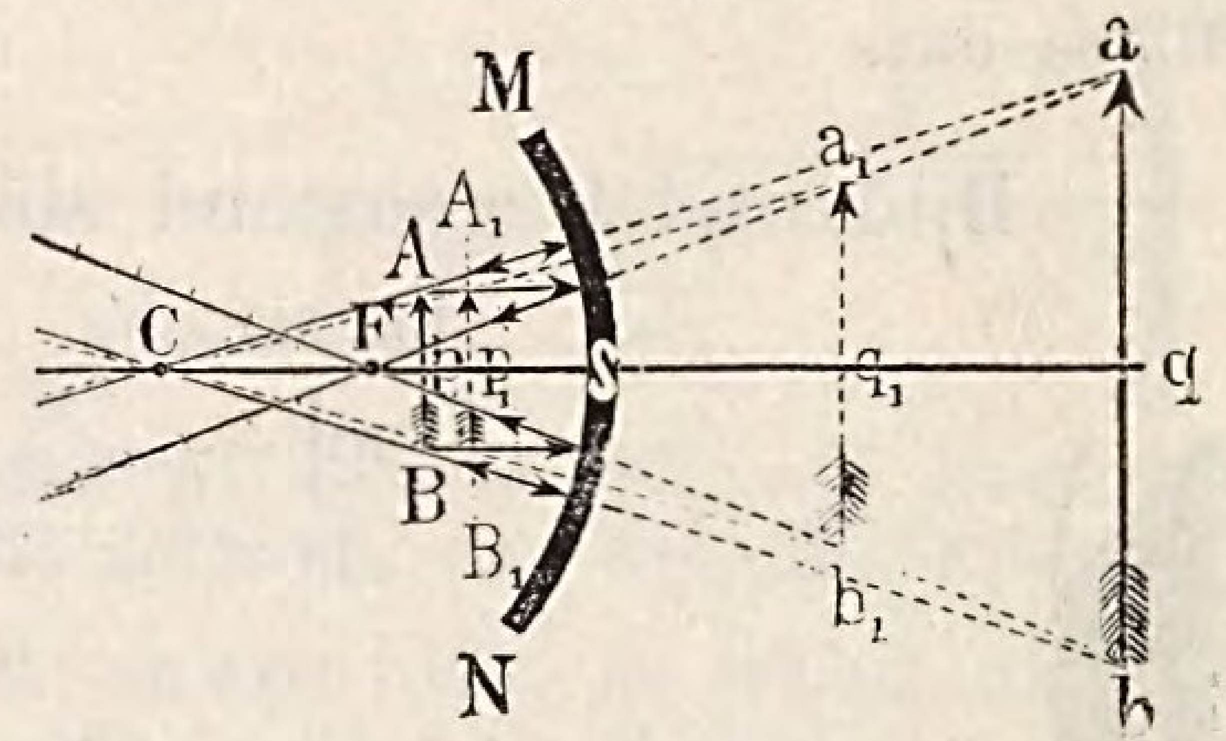
Entstehung von Bildern durch Hohlspiegel.

AB (Fig. 346—348) sei ein Gegenstand, von dem Licht auf den Spiegel MN fällt; C sei der Krümmungsmittelpunkt, F der Brennpunkt (FS also die Brennweite) des Spiegels. Es soll untersucht werden, 1) ob und was für ein Bild entsteht, 2) welchen Einfluſs es auf das Bild ausübt, wenn der Gegenstand seine Lage gegen den Spiegel ändert. — Zu diesem Zwecke genügt es, den Verlauf je zweier Strahlen zu verfolgen, welche von den Endpunkten des Gegenstandes ausgehen, und von denen der eine Strahl den Krümmungsmittelpunkt des Spiegels trifft, der andere mit der Achse des Spiegels parallel läuft. Ersterer wird in sich selbst, letzterer nach dem Brennpunkte zurückgeworfen.

1. Der Gegenstand befinde sich **innerhalb der Brennweite** (Fig. 346, folg. Seite). In diesem Falle *divergieren* die von demselben Punkte ausgehenden Strahlen nach ihrer Reflexion und rufen daher den Ein-

druck hervor, als kämen sie von den hinter den Spiegel gelegenen Punkten a und b, in denen ihre Verlängerungen sich schneiden. Wegen dieser scheinbaren Vereinigung der von denselben Punkten ausgehenden Strahlen kann somit wie beim ebenen Spiegel nur ein *aufrechtes, scheinbares Bild* entstehen.

Fig. 346.



Denkt man sich nun, der Gegenstand AB würde dem Spiegel in der Richtung der Achse etwa bis A_1B_1 genähert, so behält das parallele Strahlenpaar seine Lage bei, während die mit den Krümmungsradien zusammenfallenden Strahlen sich der Achse nähern. Dadurch rücken die scheinbaren Schnittpunkte der Strahlen dem Spiegel näher (a_1 und b_1) und das Bild wird kleiner. Was würde eintreten, wenn man den Gegenstand weiter vom Spiegel entfernte? Vergleich mit einem ebenen Spiegel! — Bestätigung durch den Versuch.

Befindet sich ein Gegenstand **innerhalb der Brennweite eines hohlen Kugelspiegels,** so erblickt ein vor dem Spiegel befindliches Auge hinter demselben ein aufrechtes, scheinbares Bild.

2. Der Gegenstand befinde sich **aufserhalb der Brennweite** (Fig. 347 und 348). Die von A und B ausgehenden Strahlen, von denen 1 und 3 wie vorhin mit der Achse parallel laufen, 2 und 4 durch C gehen, *konvergieren* nach ihrer Reflexion, und da sie sich in a und b schneiden, so entsteht ein *umgekehrtes, wirkliches Bild.*

Fig. 347.

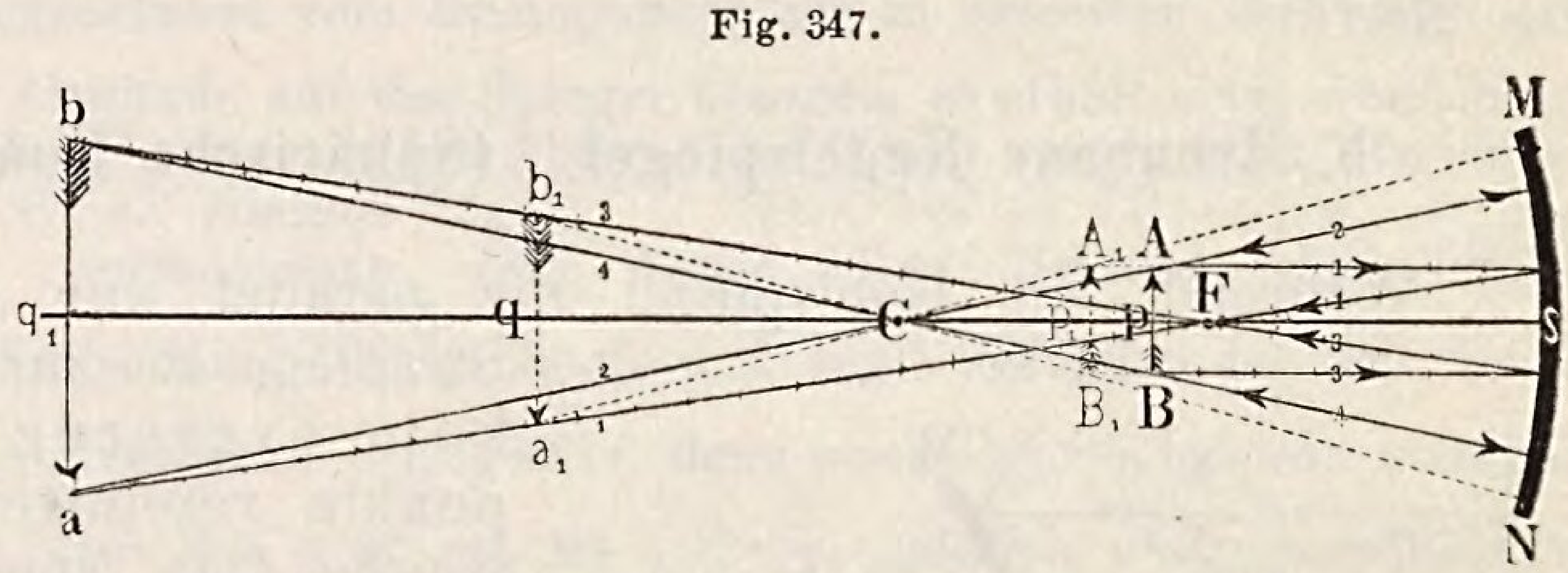
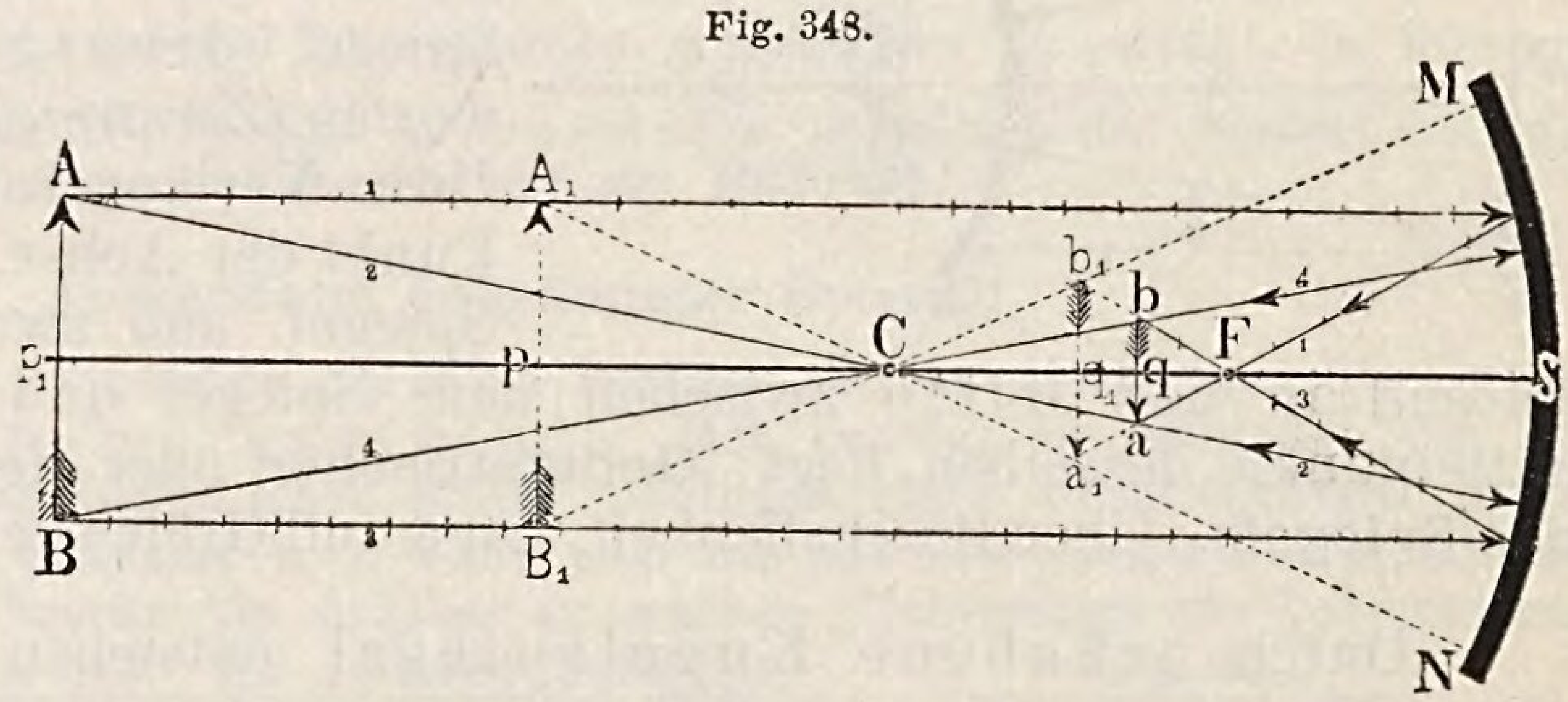


Fig. 348.



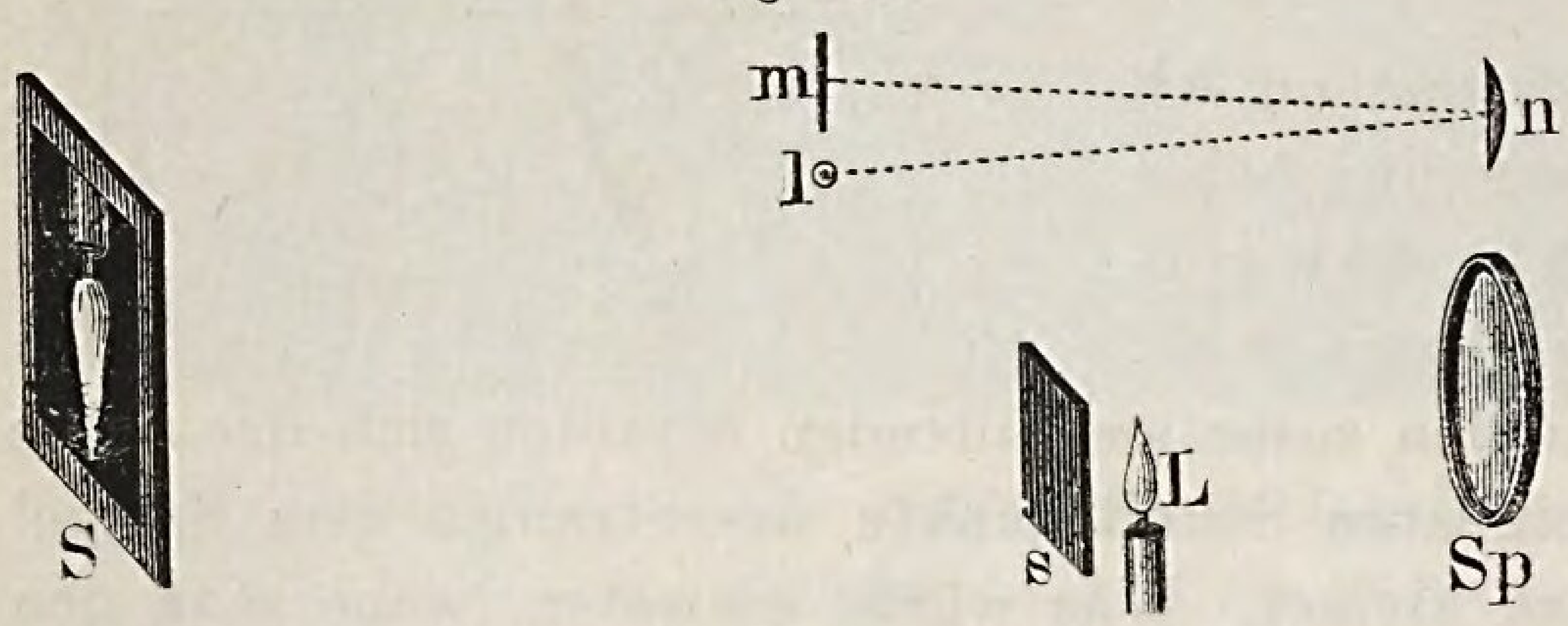
Wie würde die Lage des Bildes sich ändern, wenn man den Gegenstand (Fig. 347) 1. in der Richtung der Achse vom Brennpunkte weiter entfernte, 2. dem Brennpunkte mehr näherte? — Erkläre Fig. 348 und beurteile, welchen Einflufs es auf die Lage des Bildes ausübt, wenn der Gegenstand seine Lage gegen den Spiegel ändert. Bestätigung durch den Versuch.

Von einem **aufserhalb der Brennweite** befindlichen Gegenstande entsteht vor einem hohlen Kugelspiegel ein umgekehrtes, wirkliches Bild.

In Fig. 349 bezeichnet s einen Schirm, welcher die direkte Beleuchtung des Schirmes S verhindert; l, m und n deuten die Anordnung der Teile an für den Fall, dafs die Flamme im Krümmungsmittelpunkte des Spiegels sich befindet; l stellt die Flamme, n den Spiegel und m den Schirm zum Auffangen des Bildes dar.

Bild und Gegenstand sind gleichgrofs und gleichweit vom Spiegel entfernt, wenn der Gegenstand sich im Krümmungsmittelpunkte befindet. Das Bild wird um so gröfser und entfernt sich um so weiter vom Spiegel, je mehr man den Gegenstand dem Brennpunkte nähert; es wird hingegen um so kleiner und nähert sich dem Brennpunkte um so mehr, je weiter man den Gegenstand vom Spiegel entfernt.

Fig. 349.

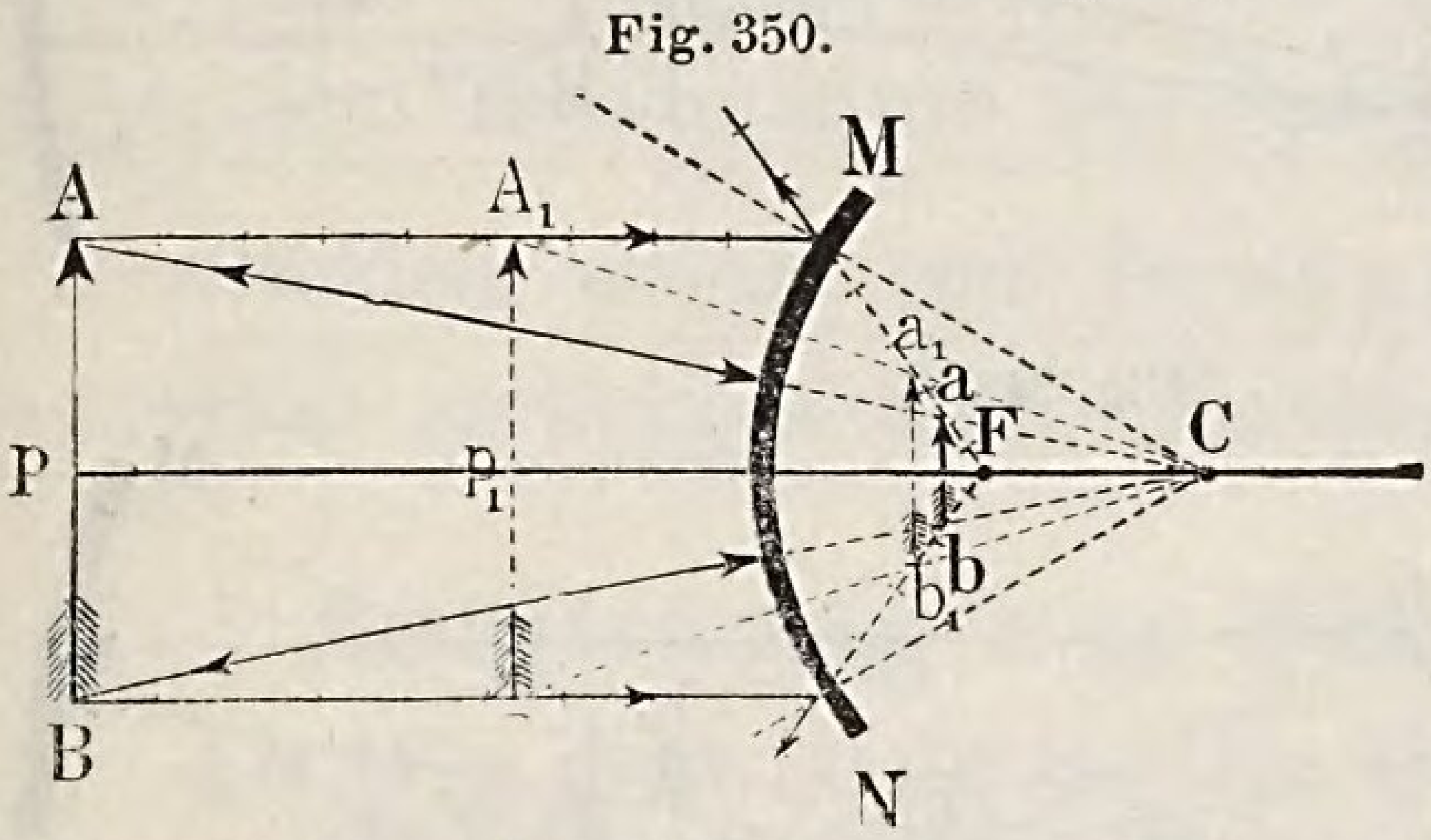


Die Undeutlichkeit der Bilder, welche bei einem hohlen Kugelspiegel dadurch entsteht, dafs die in der Nähe des Spiegelrandes einfallenden Strahlen die Achse in kürzerem Abstande vom Spiegel schneiden als die mittleren Strahlen, wird **sphärische Abweichung** *genannt. Spiegel mit parabolischer Krümmung sind frei von diesem Fehler* (Blendscheiben in den Laternen der Lokomotiven, siehe ferner Fig. 378.)

b. Erhabene Kugelspiegel. (Sphärische Konvexspiegel.)

Während ein Hohlspiegel die parallel zur Achse auffallenden Strahlen so zurückwirft, dafs sie konvergieren und sich im Brennpunkte vereinigen *(Sammelspiegel)*, werden sie von einem erhabenen Spiegel divergierend zurückgeworfen *(Zerstreuungsspiegel*, Fig. 350). Ihre Verlängerungen treffen einen Punkt der Achse, welcher hinter dem Spiegel, und zwar (wie beim Hohlspiegel) in der Mitte zwischen dem Spiegel und dem Krümmungsmittelpunkte desselben liegt: **Geometrischer** oder **negativer Brennpunkt des Spiegels.** Über Beschaffenheit, Lage und Gröfse der Bilder ergiebt sich:

Fig. 350.



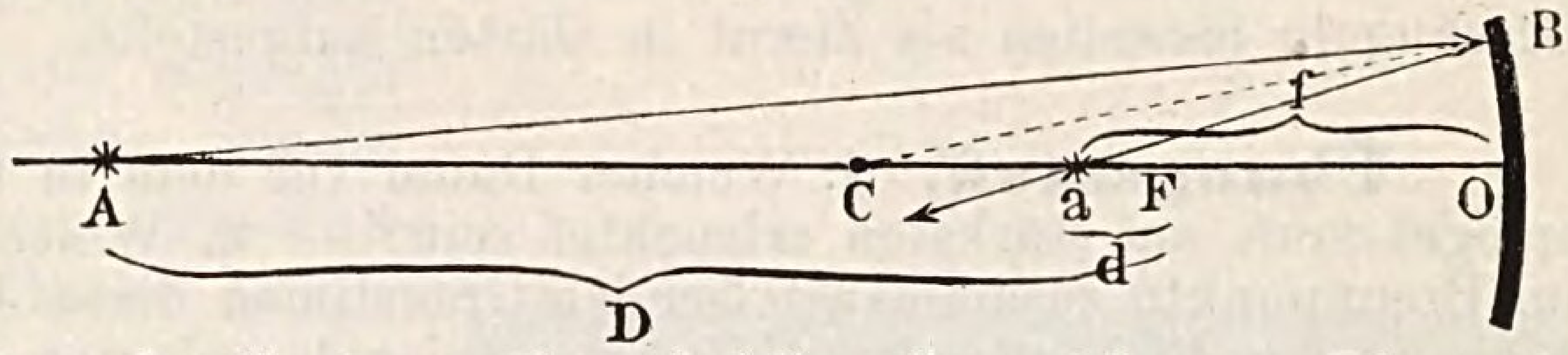
Durch erhabene Kugelspiegel entstehen nur aufrechte, scheinbare Bilder (zwischen dem negativen Brennpunkte und dem Spiegel). Diese Bilder werden um so kleiner, je weiter man Gegenstand und Spiegel voneinander entfernt.

In den Figuren 346, 347, 348 und 350 ist $\triangle abC \sim \triangle ABC$. Hieraus folgt für die Gröfse der Bilder die Proportion: $ab : AB = e : E$, wenn e und E diejenigen Strecken der verlängerten Achse bezeichnen, um welche Bild und Gegenstand vom Krümmungsmittelpunkte C entfernt sind. (Proportion in Worten?)

Ableitung eines allgemeinen Gesetzes für Kugelspiegel mit kleiner Öffnung.

Hohlspiegel: In Fig. 351 stelle AB einen von A ausgehenden, Ba den vom Spiegel zurückgeworfenen Strahl dar, C sei der Krümmungsmittelpunkt und F der Brennpunkt. Es ist AC : aC = AB : aB (da der Dreieckswinkel ABa durch BC halbiert ist), oder wenn B der Achse sehr nahe liegt, annähernd AC : aC = AO : ao. Diese Abstände lassen sich sowohl auf den Brennpunkt als auch auf den Spiegel beziehen:

Fig. 351.



1. Bezieht man die Abstände auf den Brennpunkt, so erhält man für obige Proportion nach der Figur $(D-f):(f-d) = (D+f):(f+d)$ oder nach Umstellung der Glieder $(D+f):(D-f) = (f+d):(f-d)$, woraus durch Addition und Subtraktion der Glieder desselben Verhältnisses folgt:

$$2D : 2f = 2f : 2d \quad \text{oder} \quad \mathbf{D:f = f:d}, \text{ also } Dd = f^2 \quad \text{oder} \quad d = \frac{f^2}{D}.$$

Hiernach läfst sich die Lage des Bildes berechnen. — In Worten:

Die Brennweite ist das geometrische Mittel zwischen den Entfernungen des Brennpunktes vom Gegenstande und vom Bilde.

In der Gleichung $d = \frac{f^2}{D}$ hat man zur Berechnung der Bildweite für den Fall, dafs der Gegenstand (vom Brennpunkte aus) nicht an der vom Spiegel abgewandten Seite, sondern an der dem Spiegel zugewandten Seite (also innerhalb der Brennweite) liegt, D negativ zu setzen; dadurch wird auch d negativ, das Bild liegt also mit dem Gegenstande vom Brennpunkte aus in derselben Richtung.

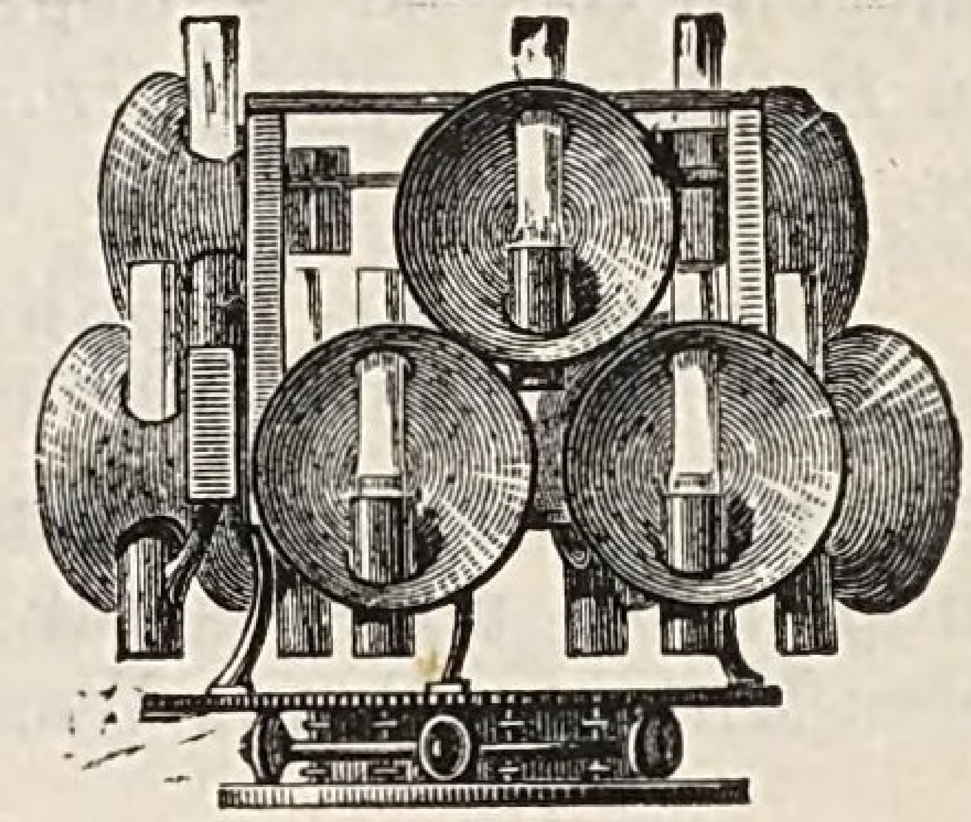
2. Werden die Abstände auf den Spiegel bezogen, so erhält man, wenn E den Abstand des leuchtenden Punktes, e den Abstand des Bildes vom Spiegel bezeichnet: $(E-2f):(2f-e) = E:e$. Hieraus folgt: $Ee - 2ef = 2Ef - Ee$ oder $2Ee = 2ef + 2ef$, woraus man, wenn durch $2Eef$ dividiert wird, erhält: $\frac{1}{f} = \frac{1}{E} + \frac{1}{e}$. In dieser Gleichung (Reciprokenformel) ergiebt sich bei der Berechnung der Bildweite für subjektive Bilder e negativ, denn wenn der Gegenstand innerhalb der Brennweite liegt, also $E < f$ ist, so ist $\frac{1}{E} > \frac{1}{f}$; folglich mufs $\frac{1}{e}$ subtrahiert werden. — Für **Konkavspiegel** ist aufserdem f negativ zu setzen. In Worten:

Der reciproke Wert der Brennweite ist gleich der Summe aus den reciproken Werten der Gegenstandsweite und der Bildweite.

Anwendung gekrümmter Spiegel.

Von den gekrümmten Spiegeln werden im praktischen Leben namentlich *Hohlspiegel* angewandt. Man benutzt sie entweder, um den nahe vor einem Lichte befindlichen Raum möglichst stark zu erleuchten (Blendscheiben in Laternen, Flurlampen u. s. w.), oder um das Licht einer Lichtquelle auf eine möglichst weite Strecke hin sichtbar zu machen (Hohlspiegel vor Lokomotiven, auf Leuchttürmen u. s. w.). Im ersteren Falle ist die Regelmäfsigkeit der Krümmung weniger wichtig, im letzteren sind nur parabolische Krümmungen brauchbar, da die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen sämtlich parallel zurückgeworfen werden müssen. Auf Leuchttürmen wurden seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts feststehende und drehbare Spiegelapparate (Fig. 352) angewandt, welche jedoch in neuester Zeit immer mehr durch noch vollkommnere Apparate ersetzt worden sind (§ 101, Fig. 368). Der sicheren Unterscheidung wegen

Fig. 352.



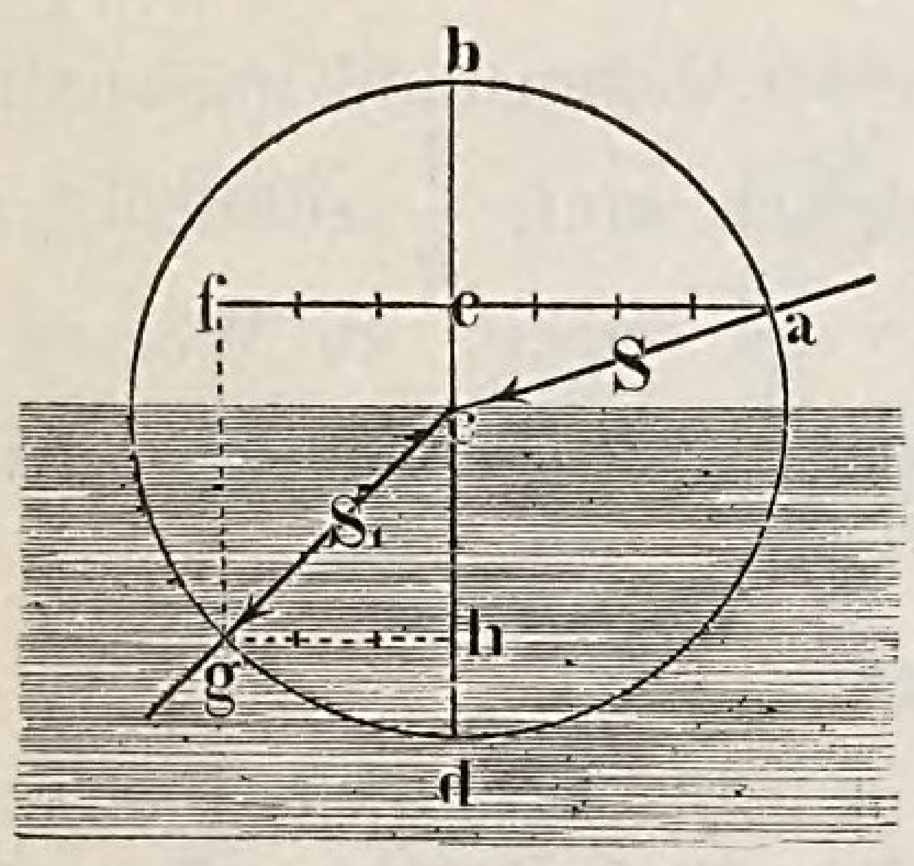
erfolgt die Drehung der Apparate mit verschiedener Geschwindigkeit (Blick- oder Blinkfeuer; in Fig. 352 stehen neun Lampen in drei Gruppen, sodafs je drei ihr Licht immer gleichzeitig nach derselben Richtung senden).

Erhabene Spiegel werden in Form von hohlen, inwendig geschwärzten Glaskugeln bisweilen als Zierat in Gärten aufgestellt.

Übungsstoff. **1.** Welcher Raum vor dem in Fig. 344 dargestellten Hohlspiegel mufs am stärksten erleuchtet sein? — **2.** Welche Gestalt haben die beiden im Brennpunkte zusammenstofsenden Grenzlinien dieses Raumes in einer durch letzteren in der Richtung der Achse des Spiegels gelegten Ebene? (Brennlinie.) — **3.** Welche Gestalt hat demnach die den Raum begrenzende Fläche? (Brennfläche, sichtbar in aufsteigendem dichten Rauche, auch in Obertassen, welche halb mit Wasser gefüllt sind, das durch Milch ein wenig getrübt worden ist.) Erkl.! — **4.** Einem Spiegel werde im Dunkeln eine Flamme aus gröfster Entfernung immer mehr genähert. Wie ändern sich die Lichtwirkungen, wenn der Spiegel eben, erhaben oder hohl ist? — **5.** Mit Hilfe eines Hohlspiegels und einer sehr stark leuchtenden Flamme kann man im verdunkelten Zimmer bewirken, dafs von einem versteckt aufgestellten Blumenstraufse etwa auf einer Blumenvase ein täuschend ähnliches, wirkliches Lichtbild entsteht. Wie ist dies auszuführen? (Siehe Fig. 349.) — **6.** Mittelst eines Hohlspiegels will man einen Lichtschein möglichst weit hinwerfen, ein andermal eine ziemlich grofse, nahe gelegene Fläche dadurch erhellen. Wo mufs man die Flamme anbringen? Praktische Fälle! — **7.** Am Gemäuer von Brücken ist bei direktem Sonnenlichte bisweilen ein eigentümliches Spiel unregelmäfsig gekrümmter Lichtstreifen sichtbar. Erkl.! — **8.** Wie lassen sich im Zimmer durch Sonnenstrahlen „zitternde Kringeln" an die Wand malen? — **9.** Wie läfst sich durch direktes Sonnenlicht der Krümmungshalbmesser (r) eines Hohlspiegels bestimmen? — **10.** Bei welchen Aufstellungen von Spiegel, Flamme und Schirm entstehen wirkliche Bilder, wenn r = 30 cm ist (Frage 9)?

§ 99. Brechungsexponent. Totale Reflexion. Luftspiegelung. In Fig. 353 sei S ein in c aus Luft in Wasser übergehender Lichtstrahl, b c sein Einfallslot. Beschreibt man dann um c mit dem Radius c a einen Kreis und zieht a e und g h parallel zum Wasserspiegel, so entstehen die beiden rechtwinkligen Dreiecke a e c und g h c, in denen die dem Einfalls- und dem Brechungswinkel gegenüberliegenden Katheten a e und g h in einem *bestimmten Verhältnis* zu einander stehen, das nach genauen Versuchen für jede Richtung des einfallenden Strahles dasselbe ist.

Fig. 353.



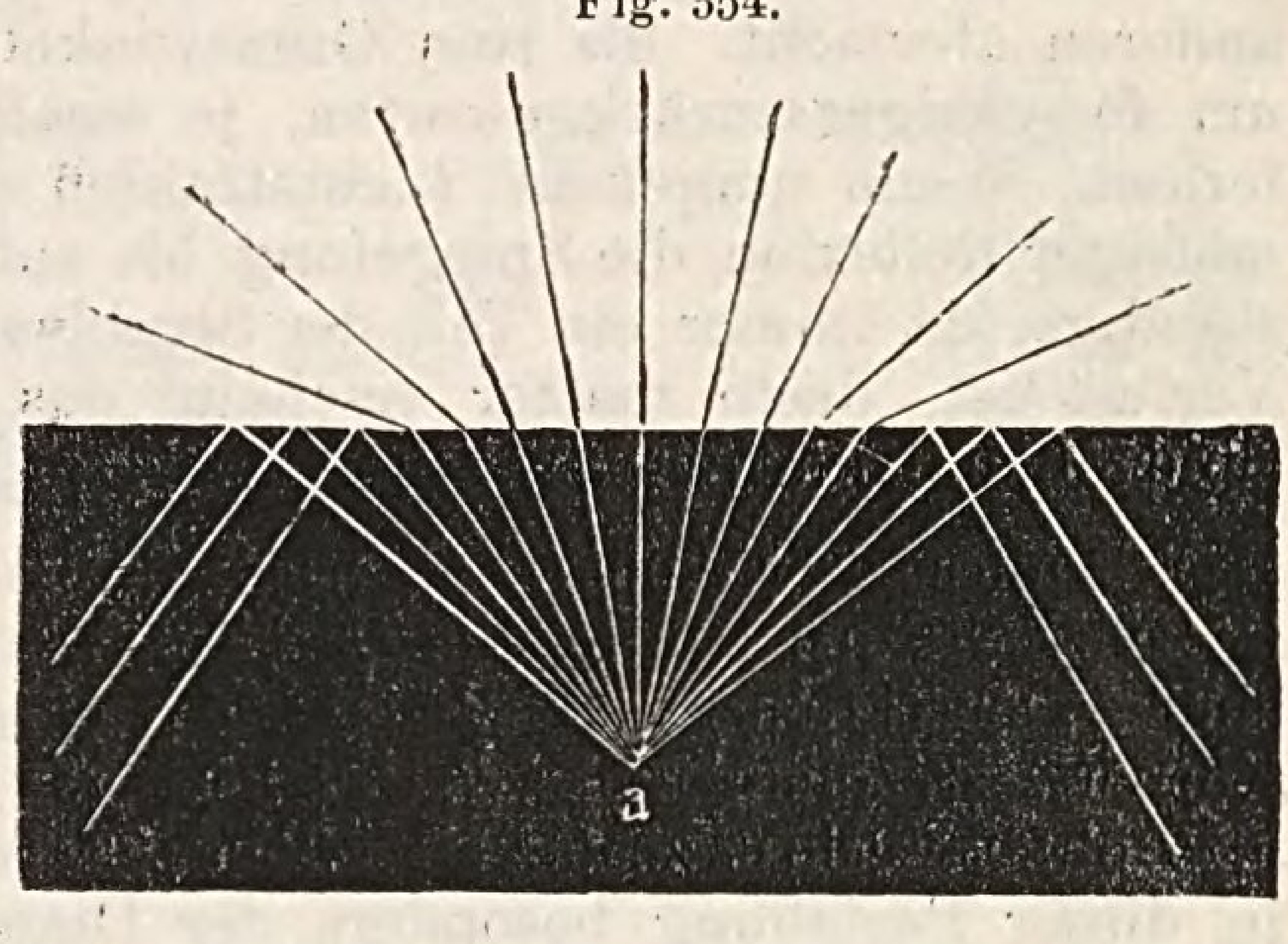
Dies gilt auch für alle anderen durchsichtigen Körper. So ist z. B das Brechungsverhältnis für Luft und Wasser ungefähr 4 : 3, d. h. wenn man a e in vier gleiche Teile teilt, so enthält g h nur drei solcher Teile; für Luft und Gas ist es ungefähr 3 : 2. Die beiden Brüche $\frac{4}{3}$ und $\frac{3}{2}$ werden die *Brechungsexponenten* für den Übergang aus Luft in Wasser und für den Übergang aus Luft in Gas genannt.

Brechungs-Exponenten: Für den Übergang aus Luft in Weingeist ungefähr 1,37, Terpentinöl 1,48, Schwefelkohlenstoff 1,65, Diamant 2,49.

Da Lichtstrahlen um so stärker gebrochen werden, je schräger sie einfallen, so mufs es für den Übergang aus einem dichteren in ein dünneres Mittel (z. B. aus Wasser in Luft, Fig. 354, folg. Seite), wobei die Strah-

len sich immer stärker vom Einfallslote entfernen, eine Grenze geben, an welcher die gebrochenen Strahlen die Grenzfläche beider Mittel streifen. Für diesen Einfallswinkel (**Grenzwinkel**) ist der Brechungswinkel demnach 90°. Alle noch schräger einfallenden Strahlen müssen wieder in das dichtere Mittel zurückgeworfen werden. Die Grenzfläche beider Mittel mufs daher, vom dichteren Mittel aus schräg genug betrachtet, wie ein Spiegel erscheinen. **Bestätigung:**

Fig. 354.



Versuch. Hält man ein mit Wasser oder einer anderen durchsichtigen Flüssigkeit gefülltes Glas (Fig. 355) so hoch, dafs man von unten schräg gegen den Flüssigkeitsspiegel sehen kann, so erscheint derselbe wie ein Quecksilberspiegel; von einem in das Wasser eingetauchten Stabe ist ein deutliches Spiegelbild sichtbar.

Fig. 355.



Derjenige Einfallswinkel, bei welchem der Austritt eines Lichtstrahles in ein dünneres Mittel nicht mehr stattfinden kann, wird der **Grenzwinkel** *genannt.*

Lichtstrahlen, welche ein dünneres Mittel treffen, werden bei Überschreitung des Grenzwinkels sämtlich in das dichtere Mittel zurückgeworfen: **Vollständige Zurückwerfung** oder **totale Reflexion.**

Die totale Reflexion wurde von Kepler (1611) entdeckt, während das Brechungsgesetz der Holländer Snell (1620) auffand. Eine genaue Bestimmung der Brechungsexponenten, deren Kenntnis für die zweckmäfsige Konstruktion optischer Instrumente unentbehrlich ist, lehrte erst Fraunhofer (1814). Die Brechungsexponenten werden ermittelt durch die Messung der Ablenkung, welche ein Lichtstrahl in einem Prisma der betreffenden Substanz erleidet. †)

†) Trigonometrischer Ausdruck für das Brechungsgesetz: Der Sinus des Einfallswinkels und der Sinus des Brechungswinkels stehen in einem bestimmten Verhältnis zu einander. Nach der Figur ist, wenn w den Einfalls-, w_1 den Brechungswinkel und r den Radius des Kreises bezeichnet, $\frac{ea}{r} = \sin w$, $\frac{gh}{r} = \sin w_1$, mithin $\frac{\sin w}{\sin w_1} = \frac{ea}{gh} = \frac{4}{3}$, allgemein $\frac{\sin w}{\sin w_1} = n$. Der Einfallswinkel kann von 0 bis 90° wachsen. Ist nun $w = 0$, so mufs auch $w_1 = 0$ sein (da $\sin w = n \cdot \sin w_1 = 0$), d. h. der senkrecht einfallende Strahl geht ungebrochen in das andere Mittel über. Ist $w = 90°$, so hat sin w seinen gröfsten Wert: $\sin w = 1$; setzen wir diesen Wert in obige Gleichung für sin w ein, so ergiebt sich $\frac{1}{\sin w_1} = n$, also $\sin w_1 = \frac{1}{n}$. Derjenige Winkel, dessen Sinus $= \frac{1}{n}$ ist, ist also der Grenzwinkel. Für den Übergang aus Luft in Wasser ist $n = \frac{4}{3}$, der Grenzwinkel (w_1) also derjenige, dessen Sinus $= \frac{1}{4/3} = \frac{3}{4}$ ist. Hiernach ist $w_1 = 48° \, 35'$, für Luft und Kronglas ist $n = \frac{3}{2}$, $\sin w_1$ also $= \frac{1}{3/2} = \frac{2}{3}$, $w_1 = 42°$.

Der Grenzwinkel für den Übergang von Lichtstrahlen aus Wasser in Luft ist 48° 35′, aus Glas (Kronglas) in Luft 42°. Die totale Reflexion tritt überhaupt um so eher ein, je mehr das Brechungsvermögen des einen Mittels von dem des anderen abweicht. Bis zum Grenzwinkel werden Lichtstrahlen vom dünneren Mittel um so weniger zurückgeworfen, je weniger die Strahlen sich vom Einfallslote entfernen. Wenn umgekehrt Lichtstrahlen ein dichteres Mittel treffen, so ist bei regelmäfsiger Reflexion die Spiegelung bis zum gröfsten Einfallswinkel (90°) eine unvollständige, da immer ein Teil der Strahlen in den Körper eindringt. Je gröfser dieser Verlust ist, desto matter erscheint das Bild. (Vergleich zwischen einem Bilde im Spiegel und im Wasser.)

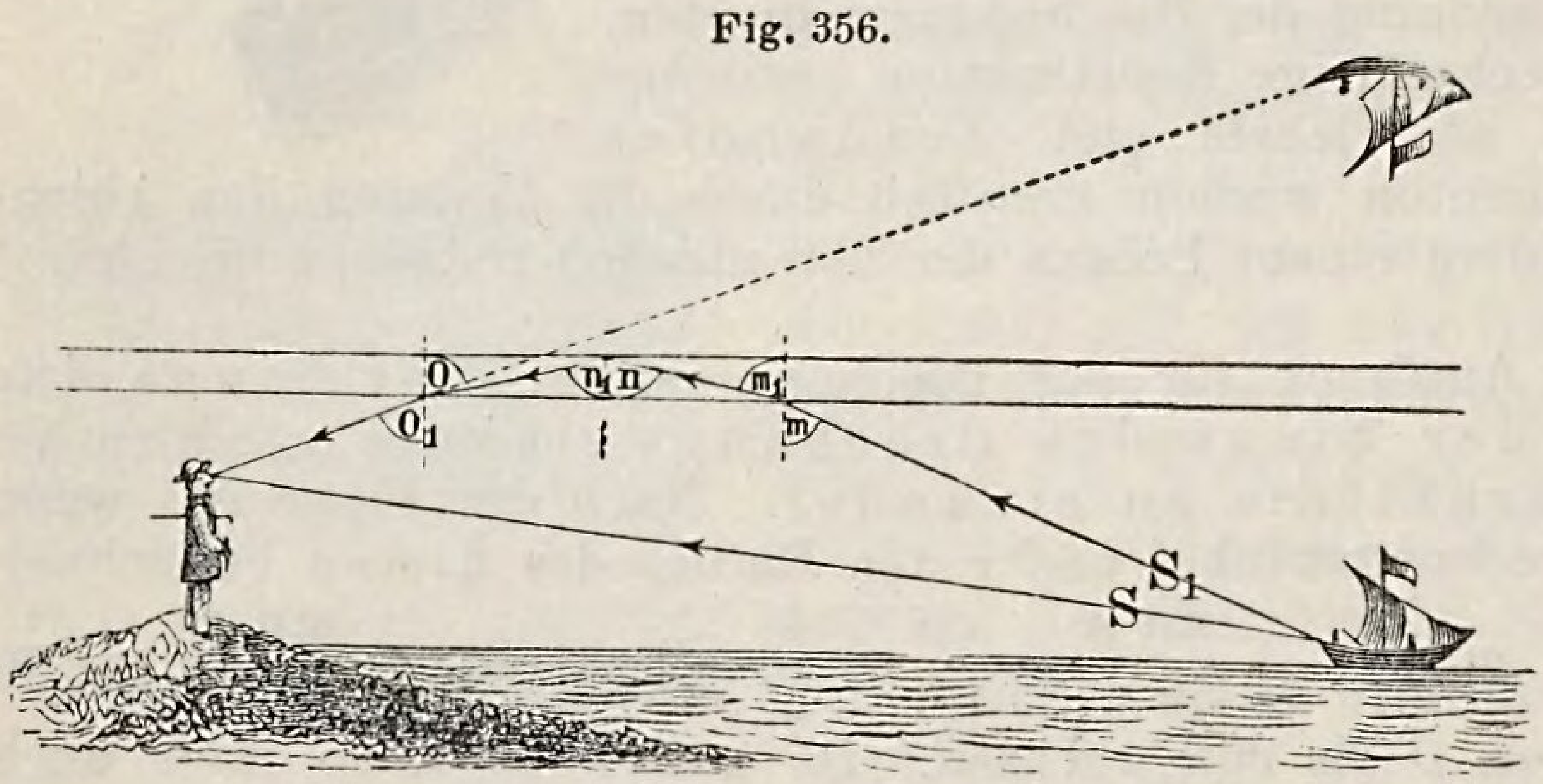
Aus der totalen Reflexion erklärt sich der zuweilen beobtete *Glanz* und die *Undurchsichtigkeit* von Körpern, die an sich durchsichtig sind. Der Glanz mufs um so stärker sein, je gröfser das Brechungsvermögen des Körpers ist, denn um so kleiner ist der Grenzwinkel und um so mehr Licht kann also ohne Verlust zurückgeworfen werden. Unter den festen Körpern zeichnet sich in dieser Beziehung besonders der Diamant aus, dessen Glanz man noch dadurch erhöht, dafs man die Zahl der vollkommen spiegelnden Flächen durch den Schliff vergröfsert. Undurchsichtigkeit kann durch vollständige Zurückwerfung der Strahlen entstehen, wenn die Strahlen in einem Körper unzählige Male in die Luft, welche die Zwischenräume des Körpers ausfüllt, zurückgeworfen werden. Gepulvertes Glas ist aus diesem Grunde undurchsichtig; giefst man aber eine Flüssigkeit darauf, welche das Licht ungefähr ebenso stark bricht (etwa Petroleum), so wird es wieder durchsichtig.

Die totale Reflexion findet eine Anwendung beim Gebrauche von Mikroskopen, auf denen man ein Glasprisma so befestigt, dafs das Bild des betrachteten Gegenstandes zum Nachzeichnen auf einem neben dem Instrumente liegenden Blatte Papier sichtbar wird (Zeichenprisma). In gleicher Weise wird bei den vollkommensten Leuchtapparaten auf Leuchttürmen durch grofse Glasprismen bewirkt, dafs die Lichtstrahlen parallel auf das Meer fallen (siehe Fig. 368).

Auf der totalen Reflexion beruht auch die Entstehung der **Luftspiegelungen,** welche bisweilen auf den Meeren der Polargegenden und in heifsen Sandwüsten vorkommen.

Auf den Meeren der Polargegenden erscheint bisweilen hoch in der Luft das umgekehrte Bild eines fernen Schiffes (Fig. 356).*) Diese Erscheinung tritt nur dann ein, wenn die unteren, auf dem Meere lagernden Luftschichten bedeutend kälter und daher viel dichter sind als die höheren Schichten. Gelangen nämlich die von dem Gegenstande ausgehenden, schräg aufwärts gerichteten Strahlen (S_1) in dünnere Schichten, so werden sie wiederholt gebrochen und entfernen sich mehr und mehr von ihren Einfallsloten. Dadurch wird ihre Richtung immer flacher, und es tritt schliefslich eine totale Reflexion ein. Die bis dahin aufwärts gerichteten Strahlen gehen dann wieder abwärts, sodafs der Beobachter den Eindruck erhält, als ob sie von einem hoch gelegenen Punkte herkämen.

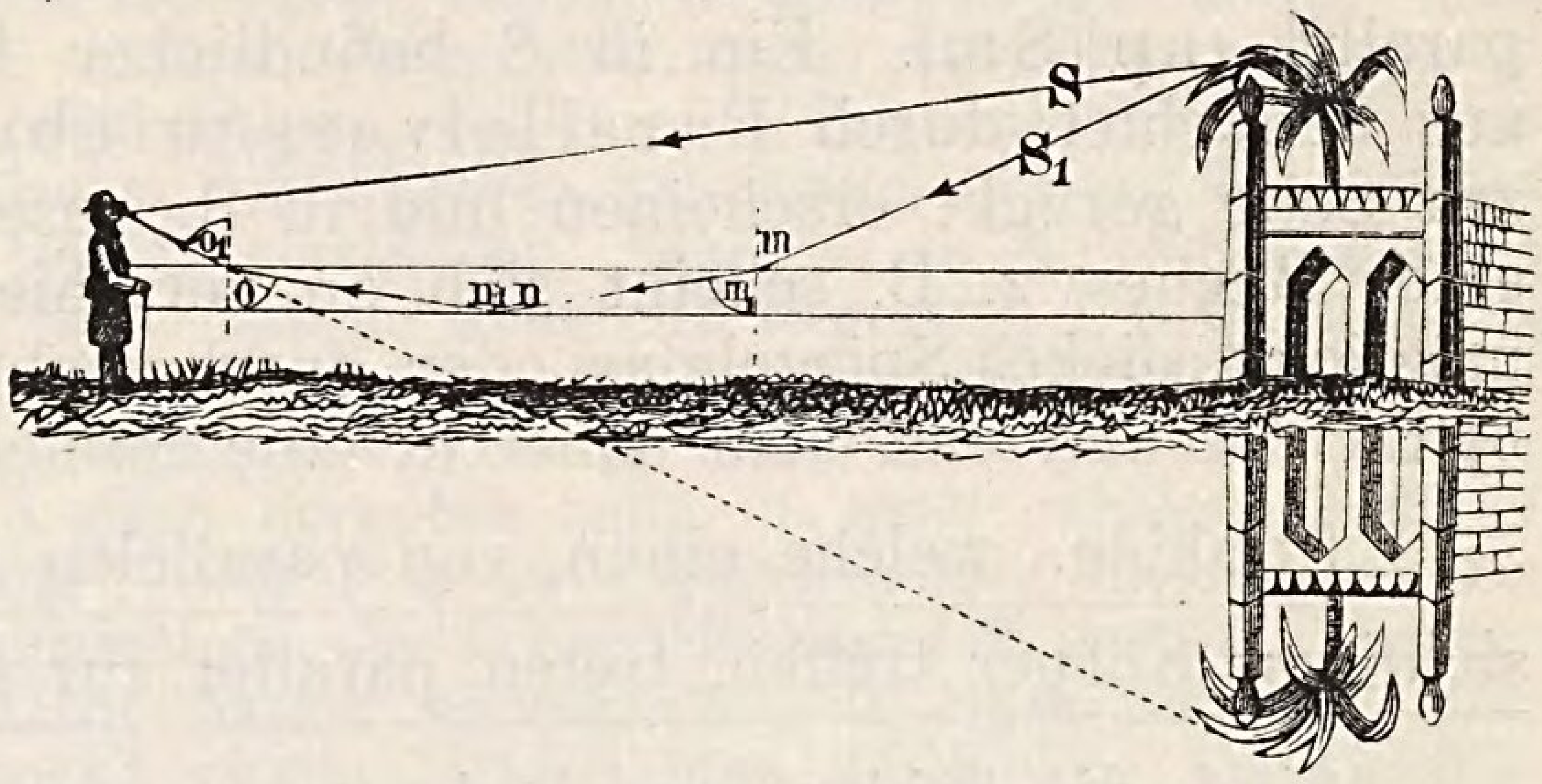
Fig. 356.



*) In Fig. 356 und 357 ist der Einfachheit wegen vor und nach der totalen Reflexion nur eine einmalige Brechung angegeben. Die Entfernung, in welcher Gegenstand und Bild dem Beobachter erscheinen, hat man sich bedeutend gröfser vorzustellen, als die Figur nach den Gröfsenverhältnissen der dargestellten Teile schliefsen läfst.

In heifsen Sandwüsten sind oft Bilder sichtbar, welche wie bei einem Wasserspiegel unter dem Gegenstande erscheinen (Fig. 357), sodafs es den Eindruck hervorruft, als sei der Gegenstand von Wasser umgeben. Diese Art der Luftspiegelung wird dadurch hervorgerufen, dafs die Dichte der Luft infolge der starken Erhitzung des sandigen Bodens nicht nach oben, sondern nach unten hin abnimmt, sodafs die anfangs schräg abwärts gerichteten Lichtstrahlen nach wiederholter Brechung durch totale Reflexion sich schräg aufwärts wenden. Die total reflektierende Luftschicht glänzt dabei wie ein Spiegel. Da der Beobachter die oberen Teile der entfernten Gegenstände deutlich erkennt, ohne den Boden, auf welchem sie stehen, sehen zu können, und auch das Blau des Himmels in der spiegelnden Fläche erblickt, so ist die Täuchung eine sehr vollständige.

Fig. 357.

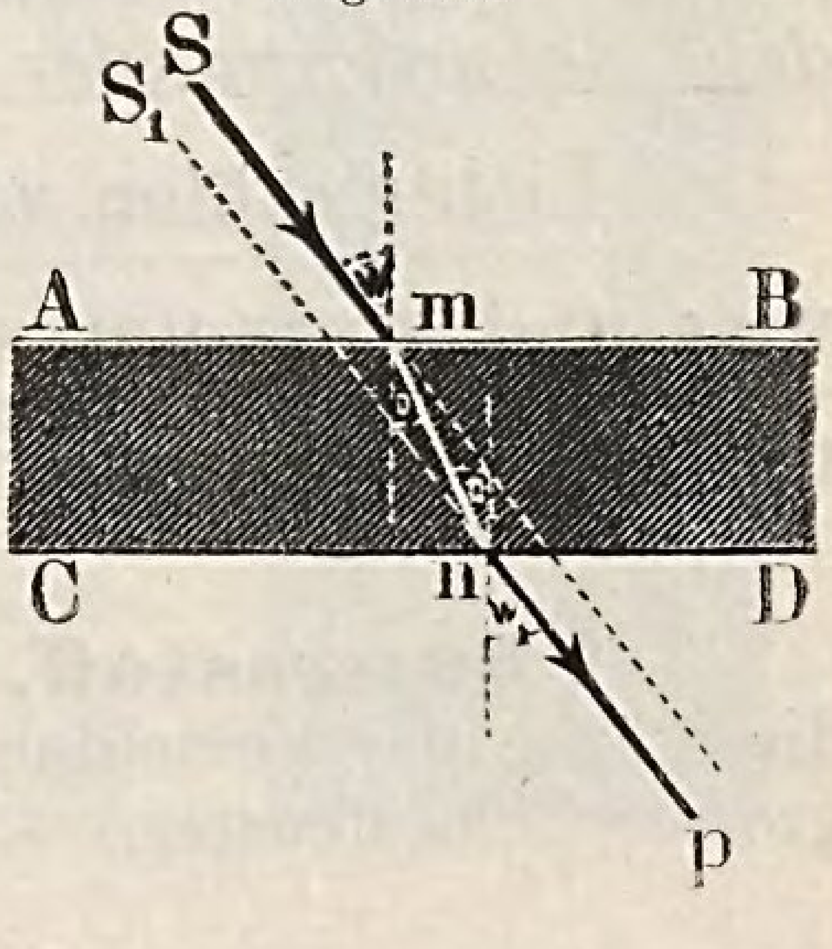


Übungsstoff. 1. Die Lichtstärke der in Gewässern sichtbaren Spiegelbilder hängt nicht nur von der Helligkeit der Beleuchtung, sondern auch von der Richtung ab, in welcher man ins W. hineinsieht; inwiefern? Erkl.! — 2. In Aquarien sieht man die Fische, wenn man von unten schräg gegen die Oberfläche des W. blickt, über dem W. Erkl.! — 3. Manche Pflanzenblätter zeigen einen hellen Silberglanz, wenn man sie in W. taucht; zieht man sie wieder aus dem W. heraus, so sind sie kaum benetzt. Wie erklärt sich dies? — 4. Die Risse in geborstenen Fensterscheiben erscheinen im direkten Sonnenlichte stark glänzend. Grund! — 5. Warum sind es bei durchsichtigen Edelsteinen namentlich die vom Auge abgewandten Flächen, welche den starken Glanz erzeugen? — 6. Kleine Luftblasen glänzen im W. wie Perlen; desgl. Tautropfen im direkten Sonnenlichte an der Sonnenseite. Erkl.! (Luft in W. und W. in Luft.) — 7. Vgl. die totale Reflexion mit der bekannten Ersch., welche eintritt, wenn man einen dünnen Stein mit der Hand kräftig und möglichst flach auf eine Wasserfläche wirft. — 8. Durchsichtige Körper sind in einer Flüssigkeit nicht zu erkennen, wenn beide das Licht gleichstark brechen (z. B. ein Glasstab in einer Mischung von Schwefelkohlenstoff und Terpentin); sie treten aber um so deutlicher hervor, je verschiedener das Lichtbrechungsvermögen beider K. ist. Wie wird sich hiernach ein Diamant von ebenso geschliffenem Glase leicht unterscheiden lassen? — 9. Warum ist Seifenschaum um so undurchsichtiger, je kleiner die Blasen sind, während doch eine einzelne Seifenblase durchsichtig ist? — 10. Warum müssen die Lichtstrahlen, welche die beiden Luftspiegelungen (Fig. 356 und 357) hevorrufen, beim Übergange in die entgegengesetzte Richtung eine sehr flache Lage haben? — 11. Warum müssen die Erschn. verschwinden, wenn man sich den Gegenständen mehr und mehr nähert?

§ 100. Brechung des Lichtes beim Durchgange durch Platten und Prismen.

Um die Erscheinungen kennen zu lernen, welche eintreten, wenn Lichtstrahlen nach ihrem Durchgange durch durchsichtige Körper sich in dem ersten Mittel weiter fortbewegen, betrachten wir zunächst den Durchgang des Lichtes durch eine durchsichtige Platte mit parallelen Grenzflächen. Der Strahl S, Fig. 358, treffe die Platte im Punkte m; n sei der Punkt,

Fig. 358.



in welchem er wieder austritt. Sind w und o, w_1 und o_1 die zugehörigen Einfalls- und Brechungswinkel, so ist $\sphericalangle$ o = o_1 und folglich w = w_1 (warum?). Der austretende Strahl ist somit dem einfallenden Strahle parallel (np ∥ Sm). Ein in S befindlicher Körper mufs daher, von p aus betrachtet, durch Parallelverschiebung der Strahlen ein wenig zur Seite gerückt erscheinen und in S_1 gesehen werden. — Die Schrift eines Buches z. B. scheint sich zu verschieben, wenn man sie durch möglichst dickes Spiegelglas oder durch mehrere Scheiben dünnen Glases betrachtet und das Glas dabei in eine immer schrägere Lage bringt.

Strahlen, welche einen von parallelen Ebenen begrenzten, durchsichtigen Körper treffen, treten parallel zur Einfallsrichtung wieder aus.

Sind die beiden von Lichtstrahlen getroffenen Grenzflächen eines durchsichtigen Körpers nicht parallel, so können die Strahlen auch nicht parallel zur Einfallsrichtung wieder austreten; sie werden vielmehr so gebrochen, dafs sie sich von der Kante des brechenden Körpers desto mehr abwenden, je gröfser der Winkel ist, den die Grenzflächen miteinander bilden.

Fig. 359.

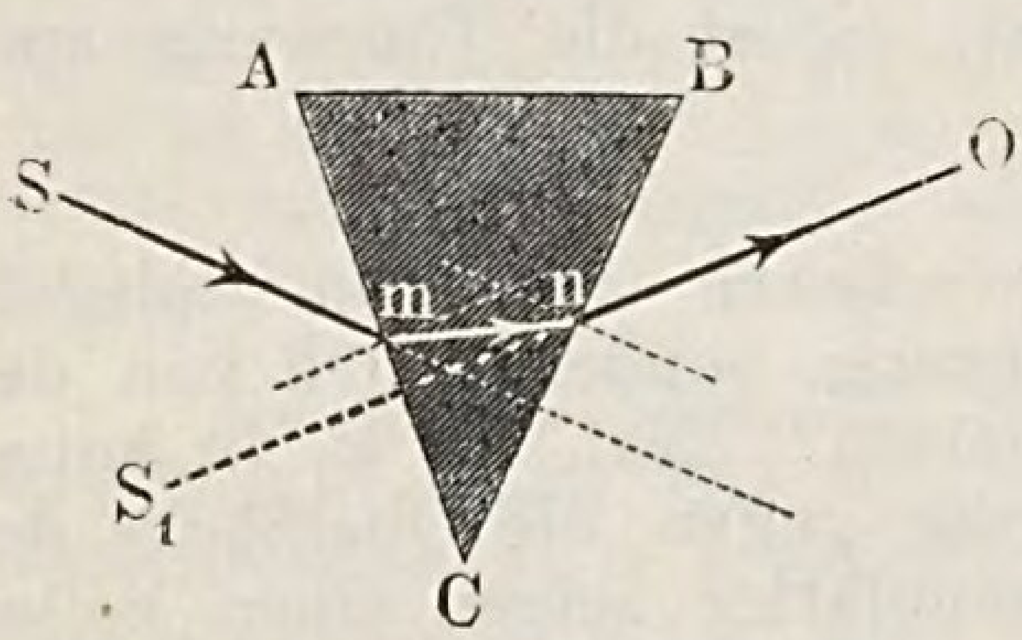


Fig. 360.

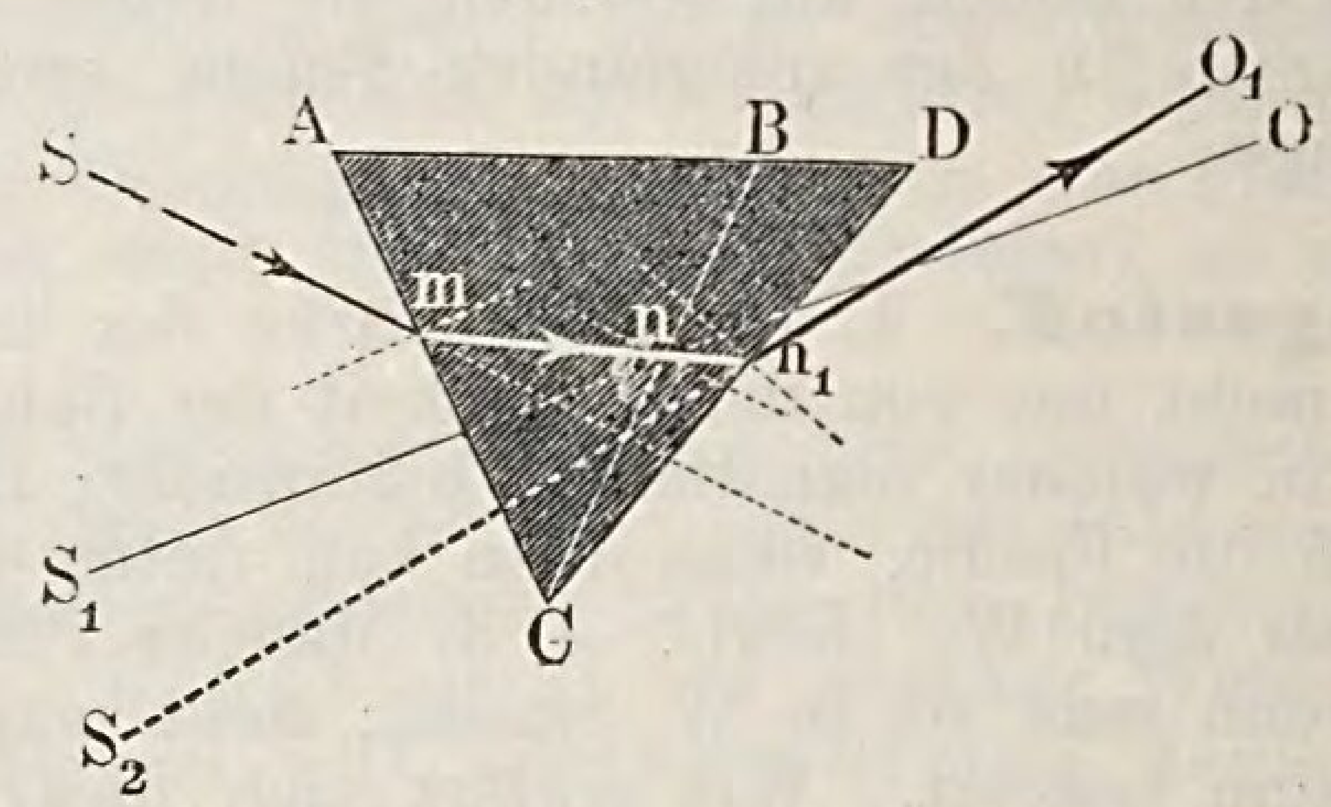
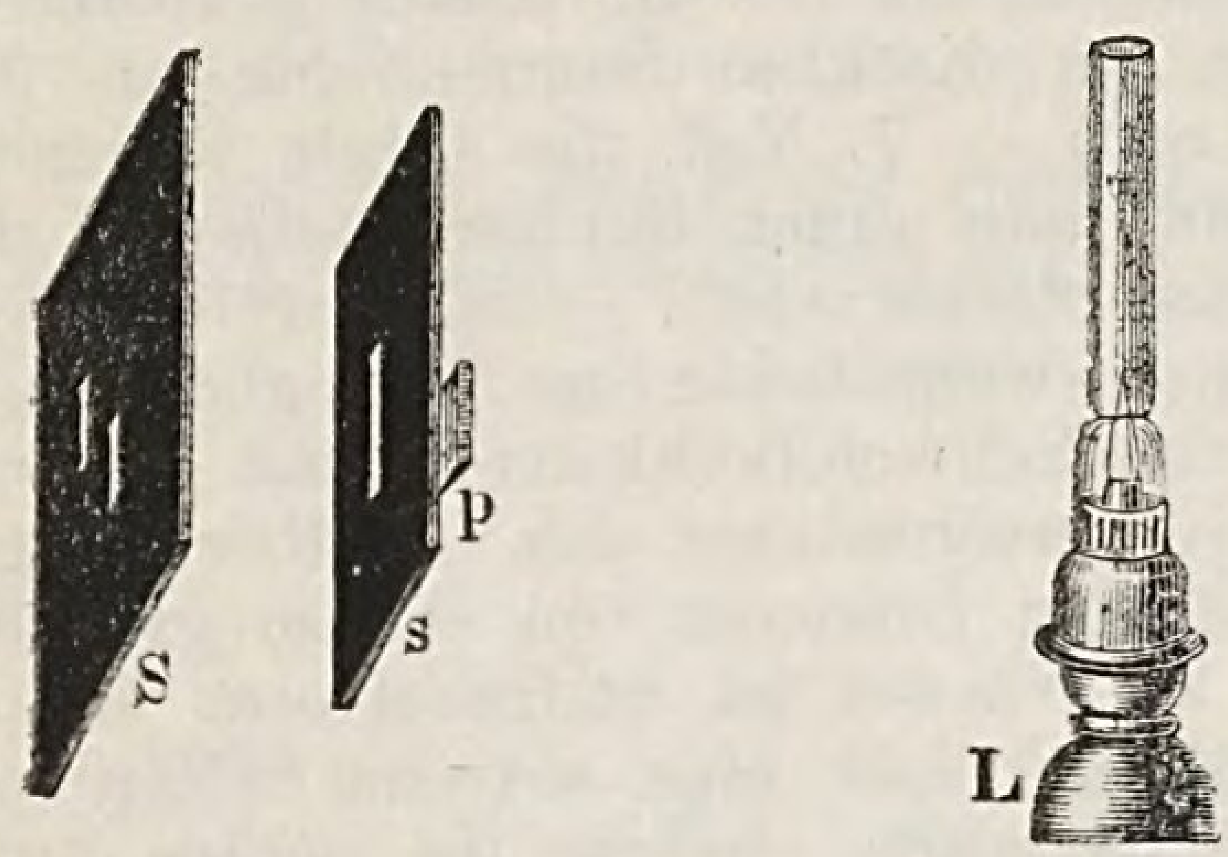


Fig. 361.



Ein in S, Fig. 359, befindlicher Körper würde, von O aus durch das Glas betrachtet, nach S_1 verschoben erscheinen. Diese Verschiebung mufs offenbar um so mehr betragen, je gröfser der von den beiden Grenzflächen gebildete Winkel (Fig. 360) und je stärker das Lichtbrechungsvermögen der Substanz des durchsichtigen Körpers ist. — Bestätigung durch einen Versuch nach Fig. 361.

Jeder durchsichtige Körper mit zwei gegeneinander geneigten ebenen Grenzflächen wird **Prisma** *genannt. Die Linie, in der diese Grenzflächen sich schneiden, heifst die* **brechende Kante** *und der Winkel, den sie miteinander bilden, der* **brechende Winkel** *des Prismas.*

Lichtstrahlen werden durch ein Prisma von der brechenden Kante weg und zwar um so stärker abgelenkt, je gröfser der brechende Winkel und das Brechungsvermögen des Prismas ist.

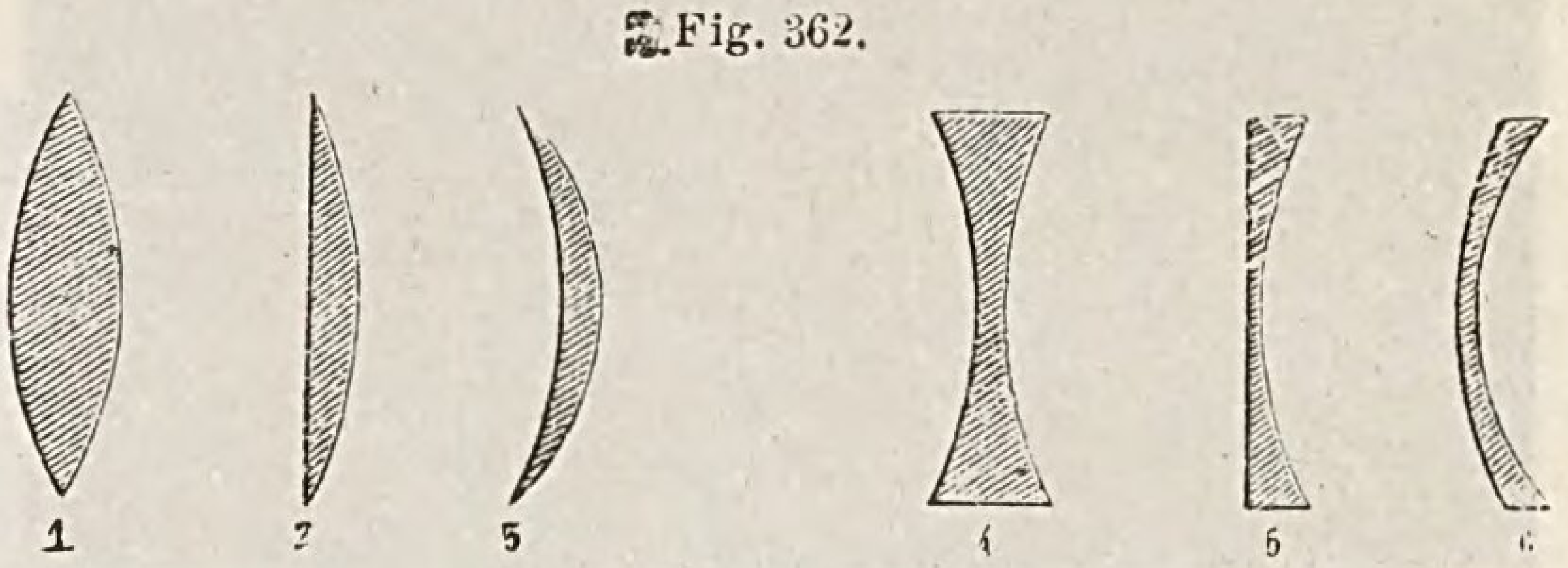
Übungsstoff. 1. Welchen Einflufs übt die Dicke einer Glasscheibe auf die Stärke der Verschiebung der durch sie betrachteten Gegenstände aus? (Scheiben grofser Schaufenster.) — 2. Ferner bei gleicher Dicke des Glases die Richtung, in

der man durch die Scheibe sieht? — 3. Durch Fensterscheiben erscheinen die Gegenstände gewöhnlich etwas verzerrt; solche Erschn. zeigen geschliffene Spiegelglasscheiben nicht. Erkl.! — 4. Legt man unter ein geschliffenes Trinkglas, das halb mit W. gefüllt ist, ein Blatt bedrucktes Papier, so erscheint die Schrift, wenn man sie von oben durch das W. hindurch betrachtet, um so stärker verschoben, je schräger man das Glas zu sich herüberkippt. Erkl.! — 5. Ein senkrecht gehaltener Stab erscheint, durch ein mit ebenen Schliffflächen versehenes und mit W. gefülltes Trinkglas betrachtet, mehrfach seitlich verschoben. Erkl.! — 6. Welche Lage mufs ein vor das Auge gehaltenes Prisma haben, wenn ein Gegenstand a. nach unten b. nach oben, c. nach rechts, d. nach links verschoben erscheinen soll? — 7. Zwei gleiche Glasprismen mit kleinen brechenden Winkeln seien so aufeinander gelegt, dafs ihre brechenden Kanten a. nach derselben Seite, b. nach entgegengesetzten Seiten gerichtet sind. Ablenkung? — 8. Von zwei gleichen Hohlprismen sei das eine mit W., das andere mit Terpentinöl oder Schwefelkohlenstoff gefüllt. Welches von beiden Prismen wird das Licht stärker ablenken? — 9. Nach Anleitung von Fig. 353 und 358 ist der Durchgang zweier Lichtstrahlen durch Glas für Einfallswinkel von 30 und 60° durch Zeichnung darzustellen.

§ 101. Brechung des Lichtes durch sphärische Linsen. Die wesentlichen Teile aller auf Lichtbrechung beruhenden Instrumente sind sogen. *Linsen, d. h. Glaskörper, welche entweder von zwei kugelförmigen Flächen oder von einer kugelförmigen und einer ebenen Fläche begrenzt sind.* Man unterscheidet:

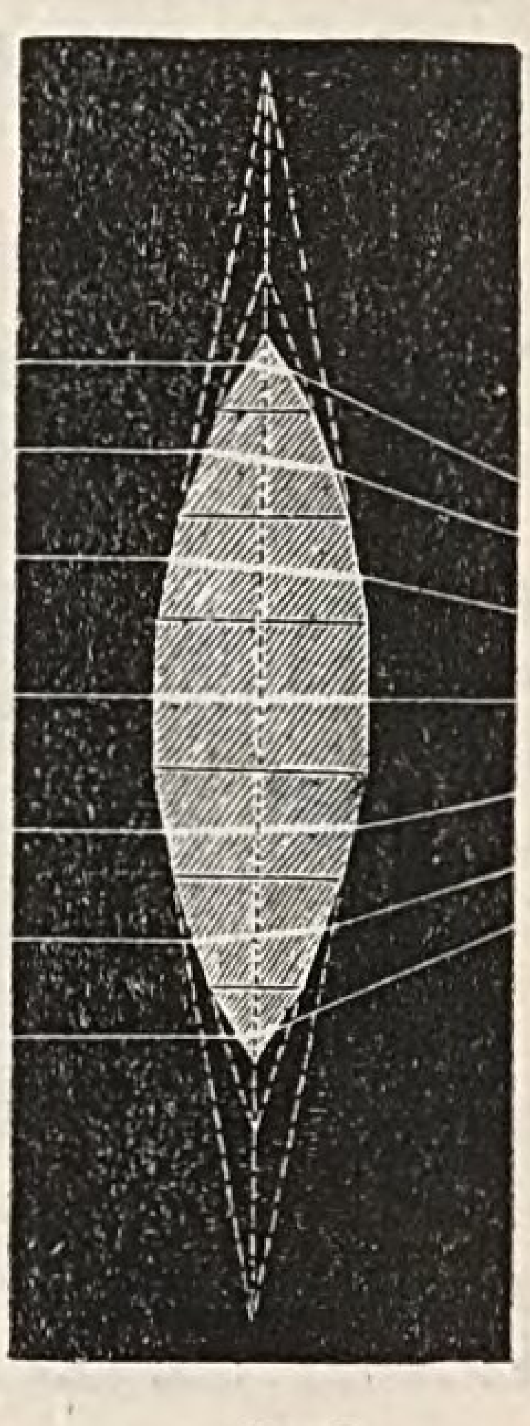
1. **Sammel-** oder **Konvexlinsen** und zwar heifst eine Linse *doppeltkonvex* (1) wenn beide Flächen nach aufsen gewölbt sind, *eben-* oder *plankonvex* (2), wenn eine Fläche nach aufsen gewölbt und die andere eben ist, *konkav-konvex* (3), wenn eine Fläche nach innen, die andere stärker als diese nach aufsen gewölbt ist.

Fig. 362.



2. **Zerstreuungs-** oder **Konkavlinsen**, und zwar *doppeltkonkave* (4), welche von zwei hohlen Flächen begrenzt sind, *eben-* oder *plankonkave* (5), die eine hohle und eine ebene Grenzfläche haben, *konvex-konkave* (6), bei denen eine Fläche nach aufsen, die andere stärker als diese nach innen gewölbt ist.

Fig. 363.



Die Mittelpunkte der Kugelflächen, von denen die Grenzflächen der Linsen Teile bilden, werden **Krümmungsmittelpunkte** *genannt. — Eine gerade Linie, welche durch die Krümmungsmittelpunkte der beiden Grenzflächen geht, heifst* **Achse** *der Linse.*

Wird eine doppeltkonvexe Linse (Fig. 363) durch kreisförmige Schnitte parallel zur Achse in mehrere Teile zerlegt, so kann man den mittleren Teil als von parallelen ebenen Flächen begrenzt, die übrigen Teile als ringförmig gebogene Prismen betrachten, deren Seitenflächen um so stärker gegeneinander geneigt sind, je näher sie dem Rande der Linse liegen. Hieraus folgt,

dafs von parallel einfallenden Strahlen, welche mit der Achse gleich gerichtet sind, 1) der Achsenstrahl ungebrochen hindurchgeht, 2) alle übrigen Strahlen die Achse schneiden und um so stärker gebrochen werden, je weiter sie von der Achse entfernt sind. — Strahlen, welche bei ihrem Ein- und Austritte parallele Flächenteile der Linse treffen, erleiden nur eine um so geringere Parallelverschiebung, je weniger ihre Richtung von der Richtung der Achse abweicht und je dünner die Linse ist. Ähnliches gilt auch für alle anderen Linsen.

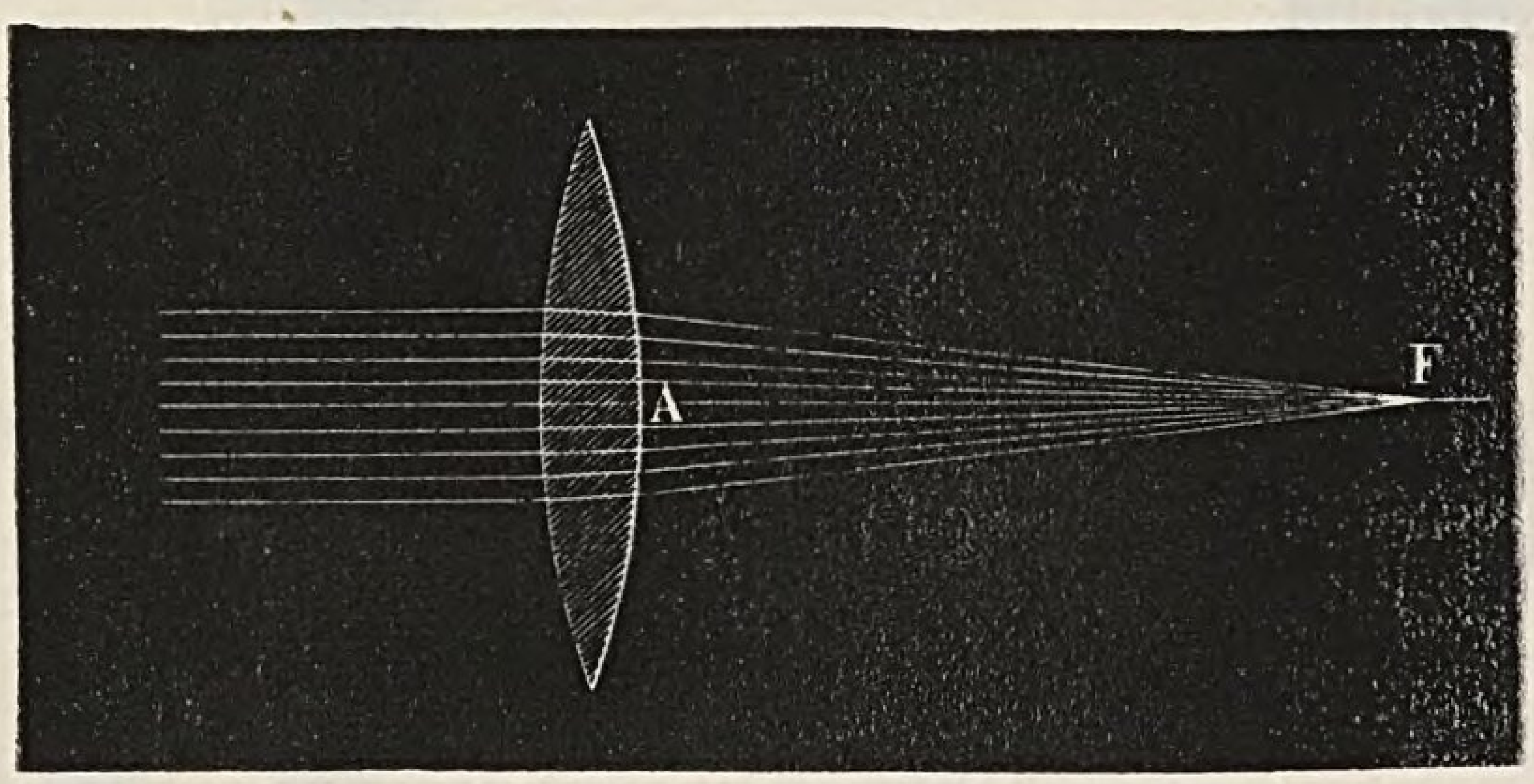
Derjenige Punkt einer Linse, durch welchen die Lichtstrahlen ohne Richtungsänderung hindurchgehen, heifst **optischer Mittelpunkt**; *die durch denselben gehenden Strahlen heifsen* **Hauptstrahlen.**

Der optische Mittelpunkt liegt bei Linsen mit gleicher Krümmung in der Mitte, bei allen anderen näher an der stärker gekrümmten Fläche, und zwar bei plankonvexen und plankonkaven in der Mitte der ebenen Fläche selbst, bei konkavkonvexen und konvex-konkaven Linsen aufserhalb der Linse.

1. Lichtbrechung durch Sammellinsen.

Versuch a. Läfst man Sonnenstrahlen parallel zur Achse durch eine Konvexlinse gehen (Fig. 364), so entsteht hinter der Linse ein sehr heller Punkt (**Brennpunkt**). Dieser ist um so weiter von der Linse entfernt, je flacher sie ist, und um so schärfer begrenzt, je kleiner (namentlich bei stark gekrümmten Linsen) die Öffnung der Linse ist. Papier entzündet sich in diesem Punkte. Welche Richtung würden die Strahlen durch die Linse erhalten, wenn sie von F ausgingen? — Gehen die Strahlen nur durch den mittleren Teil kugelförmig gekrümmter Linsen, so gelten für sie folgende Gesetze:

Fig. 364.



Strahlen, welche parallel zur Achse durch eine Sammellinse gehen, werden so abgelenkt, dafs sie sich im Brennpunkte der Linse vereinigen; Hauptstrahlen ändern ihre Richtung nicht.

Strahlen, welche vom **Brennpunkte** einer Sammellinse ausgehen, werden durch die Linse so gebrochen, dafs sie parallel zur Achse austreten.

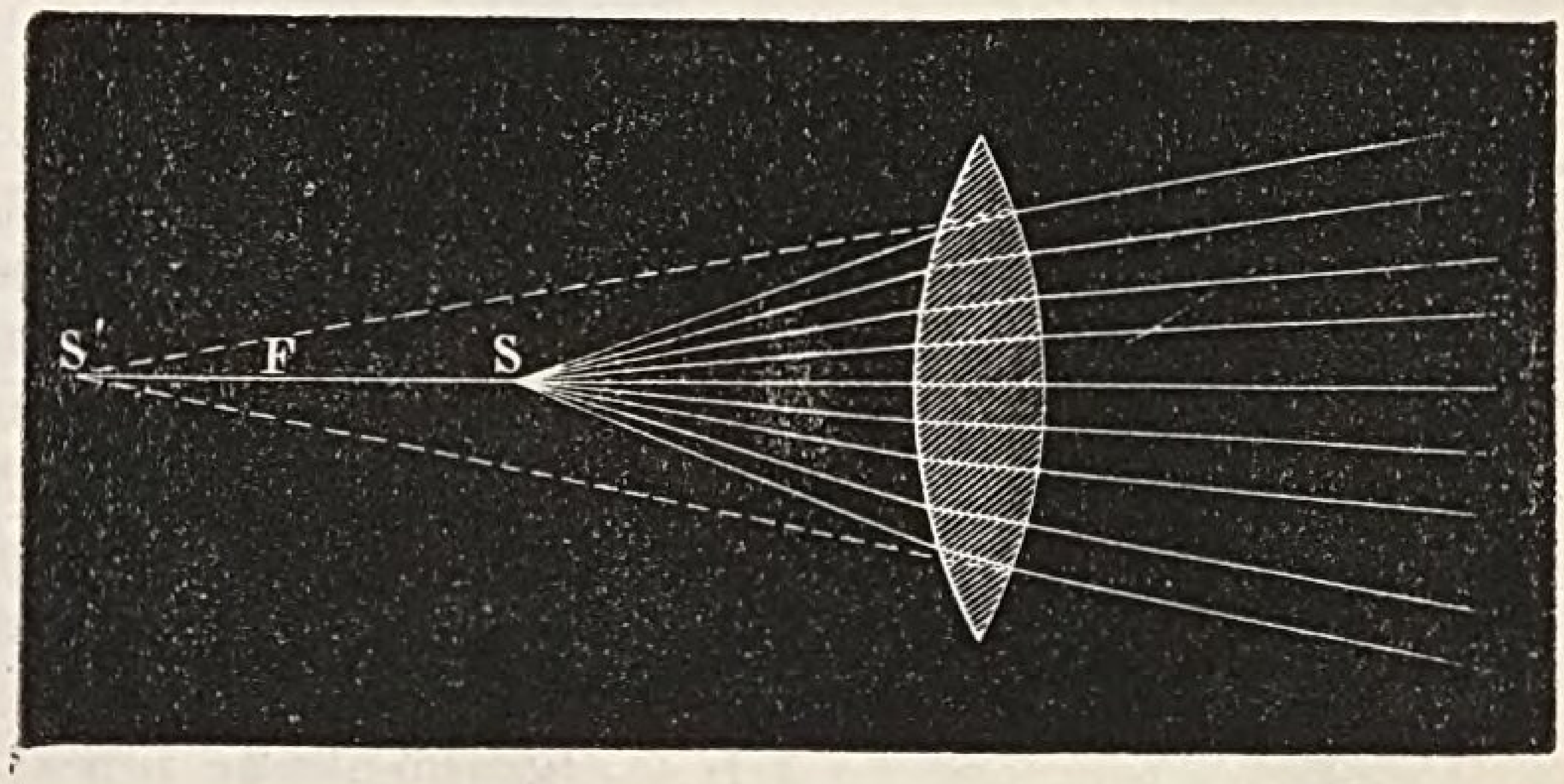
Genaue Untersuchungen lehren, dafs der Vereinigungspunkt derjenigen Strahlen, welche in der Nähe des Randes durch eine Konvexlinse gehen, ähnlich wie beim hohlen Kugelspiegel, der Linse etwas näher liegt als der Vereinigungspunkt der mittleren Strahlen: **Sphärische Abweichung.** Diese Abweichung ist um so beträchtlicher, je stärker die Linsen gekrümmt sind; am geringsten ist sie bei plankonvexen Linsen, welche somit die beste Form haben.

Versuch b. Im verdunkelten Zimmer läfst sich mit Hilfe eines weifsen Schirmes ferner nachweisen, 1) dafs die Strahlen nach ihrem Durchgange durch eine Konvexlinse um so stärker *divergieren*, je mehr der leuchtende Punkt sich innerhalb der Brennweite der Linse nähert (Fig. 365, folg. Seite), 2) dafs sie aber um so stärker *konvergieren*, je mehr der leuchtende Punkt sich aufser-

halb der Brennweite von der Linse entfernt. Ist der leuchtende Punkt um die doppelte Brennweite von der Linse entfernt, so sind die Strahlenkegel auf beiden Seiten der Linse gleich (Fig. 366).

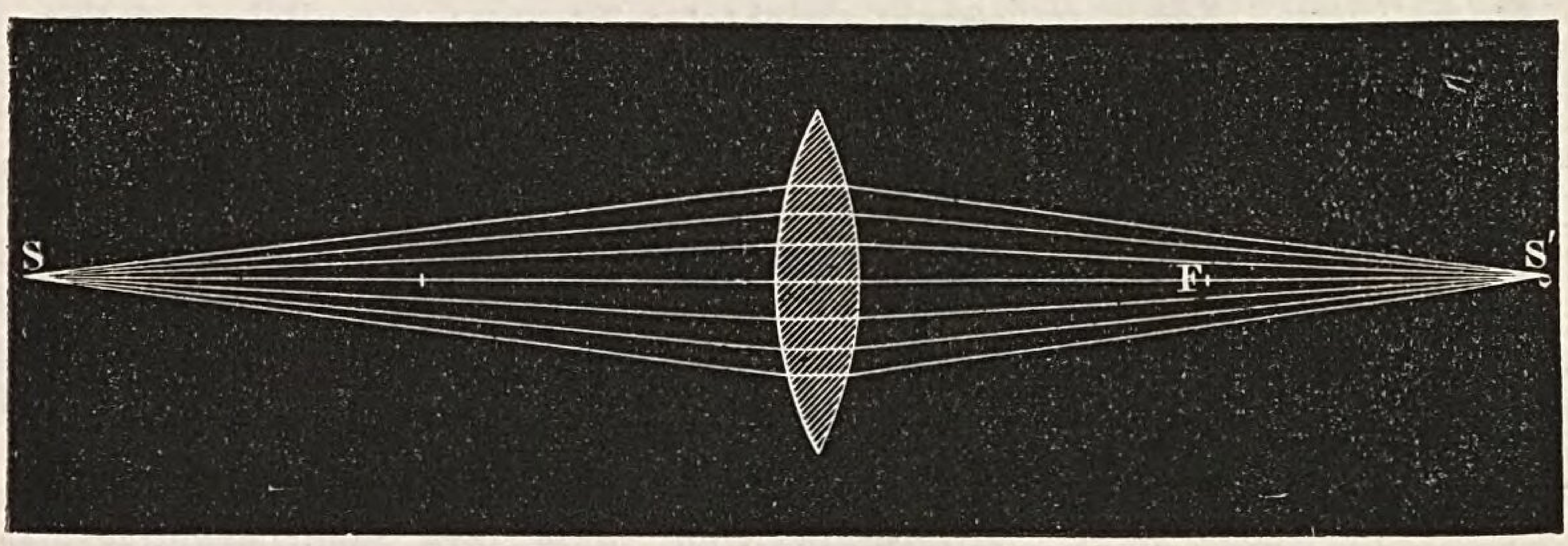
Liegt der Ausgangspunkt der durch eine Sammellinse gehenden Strahlen **in der Brennweite,** so wird die Strahlenzerstreuung durch die Linse nur abgeschwächt; liegt er **auserhalb der Brennweite,** so vereinigen sich die Strahlen hinter der Linse in einem um so näher gelegenen Punkte, je weiter der leuchtende Punkt entfernt ist.

Fig. 365.



Bei Linsen hängt die **Lage des Brennpunktes** nicht allein von der Gröfse des Krümmungshalbmessers, sondern auch von der Natur des Glases ab. Sind die beiden Grenzflächen einer Linse gleichstark gekrümmt, so fällt bei den gewöhnlichen Glaslinsen (Brechungsexponent $\frac{3}{2}$) der Brennpunkt mit dem Krümmungsmittelpunkt beinahe zusammen. Die Brennweite ist gleich dem Krümmungsradius der Linse. Bei den plankonvexen Linsen ist der Brennpunkt doppelt so weit entfernt.

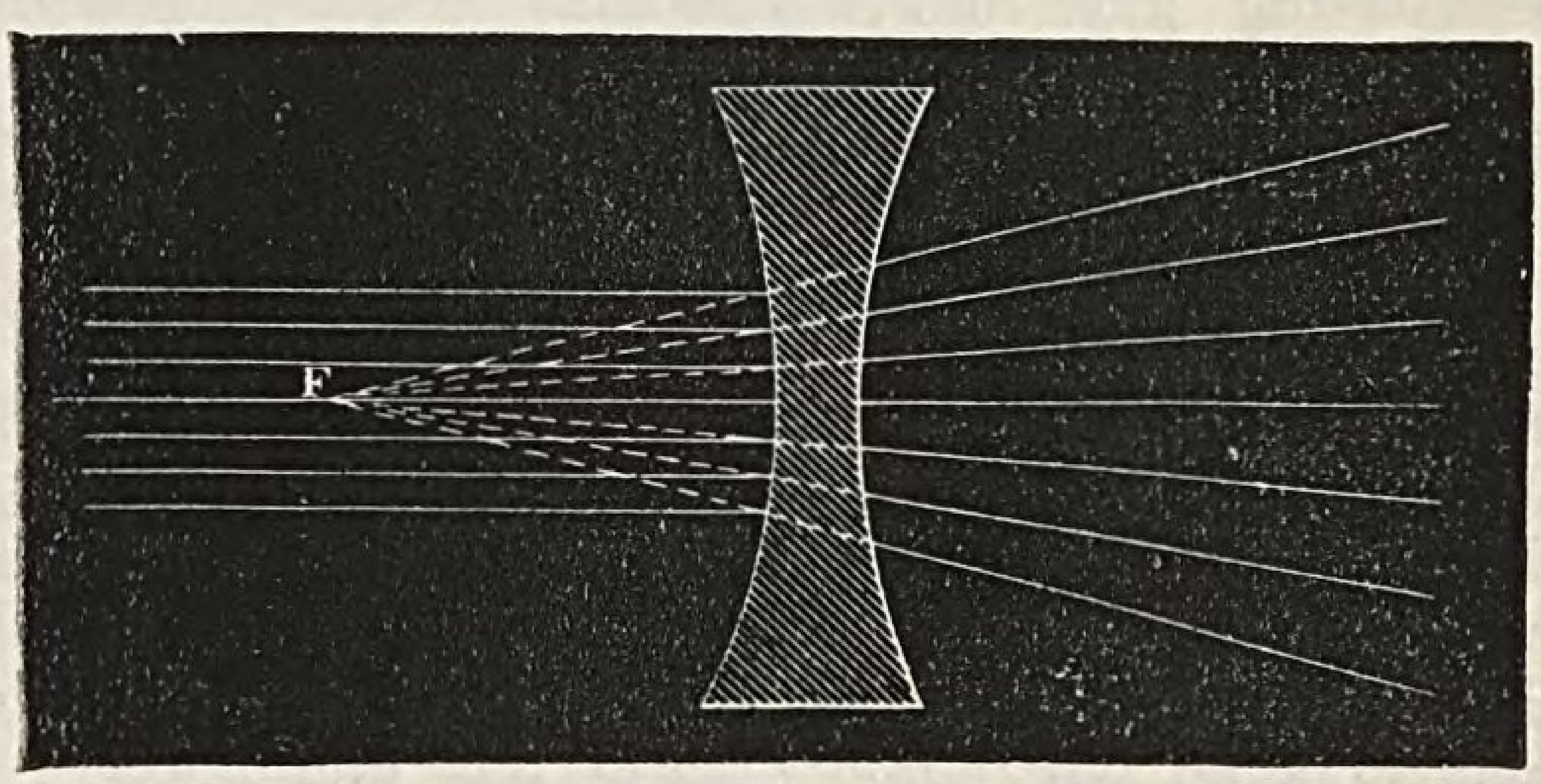
Fig. 366.



2. Lichtbrechung durch Zerstreuungslinsen.

Eine Konkavlinse (Fig. 367) sei in ähnlicher Weise, wie Figur 363 darstellt, aus mehreren Teilen zusammengesetzt. Wie läfst sich die Ablenkung der parallel zur Achse einfallenden Strahlen erklären? Was ist über die Stärke der Beleuchtung eines hinter der Linse aufgestellten Schirmes anzuführen? — Bestätigung:

Fig. 367.



Versuch c. Läfst man auf eine Konkavlinse parallel zur Achse Sonnenstrahlen fallen, so entsteht auf einem weifsen Schirm hinter der Linse ein heller Kreisring, welcher gröfser ist als die Linse und einen dunkleren Kreis,

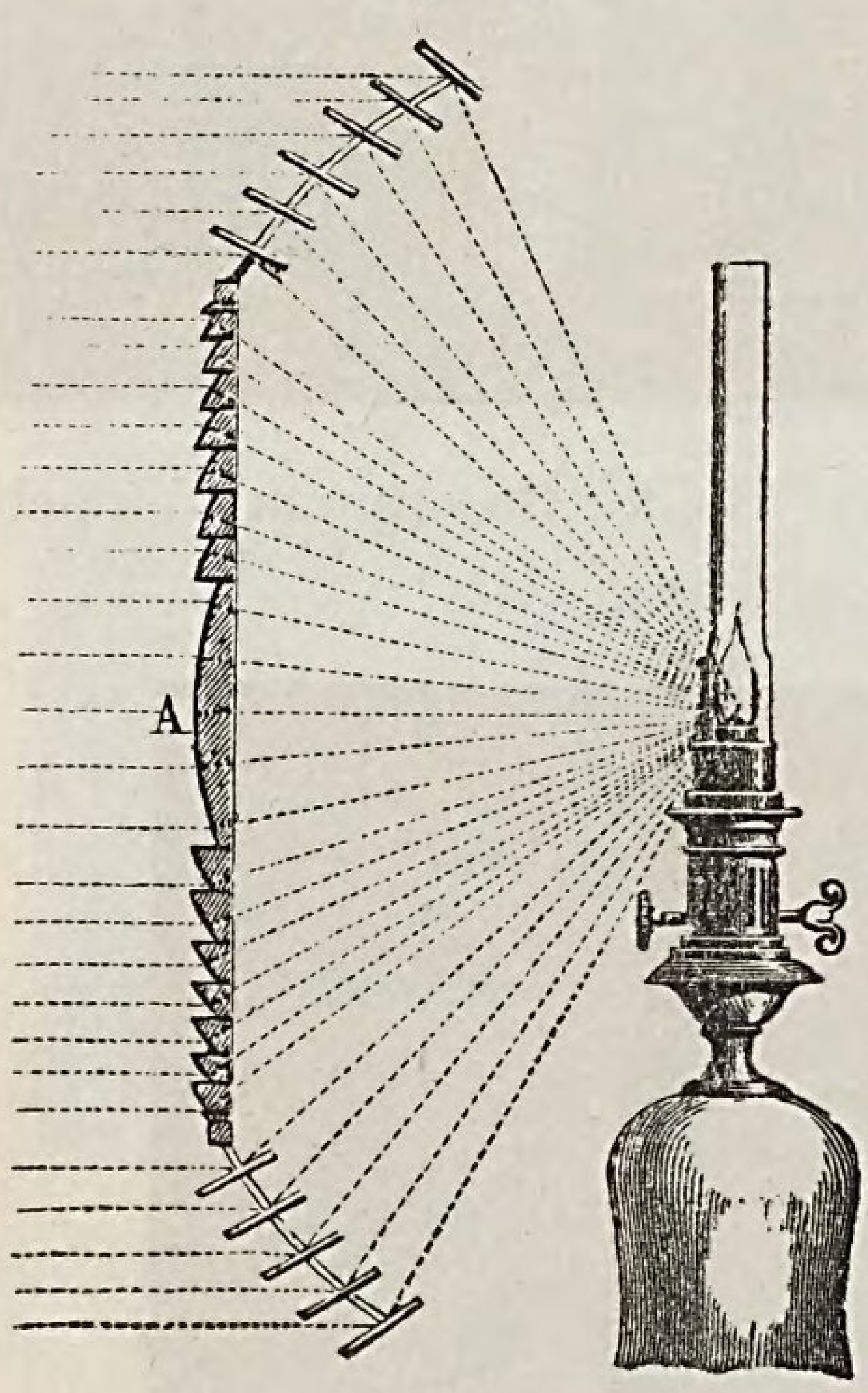
dessen Durchmesser dem der Linse entspricht, konzentrisch umschliefst: die Linse zerstreut die Strahlen. Je weiter man Linse und Schirm voneinander entfernt, desto gröfser und lichtmatter wird der Ring.

Fig. 367 stellt zugleich dar, dafs die nahe der Achse parallel einfallenden und durch die Linse gebrochenen Strahlen, nach rückwärts verlängert, sich in einem vor der Linse gelegenen Punkte, dem sogen. **geometrischen Brennpunkte**, treffen.

Strahlen, welche parallel zur Achse durch eine Zerstreuungslinse gehen, werden so abgelenkt, als ob sie vom geometrischen Brennpunkte der Linse ausgingen; Hauptstrahlen ändern ihre Richtung nicht.

Die Parallelrichtung von Lichtstrahlen durch Brechung ist für die Küstenbeleuchtung sehr wichtig geworden, indem man die früher gebräuchlichen Spiegelapparate (Fig. 352) immer mehr durch Linsen- und Prismenapparate ersetzt hat (Fig. 368). Letztere bestehen aus einem sehr weiten, nahezu tonnenförmigem Mantel, welcher aus grofsen Glaslinsen und gekrümmten Prismen so zusammengesetzt ist, dafs jede Linse (A) mit den über und unter ihr angebrachten Prismen eine einzige treppenförmig geschliffene Linse von bedeutender Ausdehnung darstellt. In der Mitte dieses Glasmantels, und zwar im Brennpunkte der Linsen, befindet sich eine sehr starke Lichtquelle. Damit auch die nach oben und unten gerichteten Strahlen parallel ausfallen, läfst man sie auf zahlreiche, kreisförmig angeordnete Spiegel (in der Figur angedeutet) oder bei vollkommnerer Einrichtung auf sehr stumpfwinklige Glasprismen fallen. Letztere bewirken eine totale Reflexion. Leuchtapparate dieser Art werden nach ihrem Erfinder Fresnelsche (spr. Fränellsche) Apparate genannt. — Die deutsche Küste ist jetzt von der russischen bis zur holländischen Grenze mit zahlreichen Leuchttürmen versehen, welche in solchen Abständen voneinander aufgestellt sind, dafs ihre Sichtbarkeitskreise bei mittlerer Durchsichtigkeit der Luft sich 10 bis 12 Meilen von der Küste schneiden.

Fig. 368.



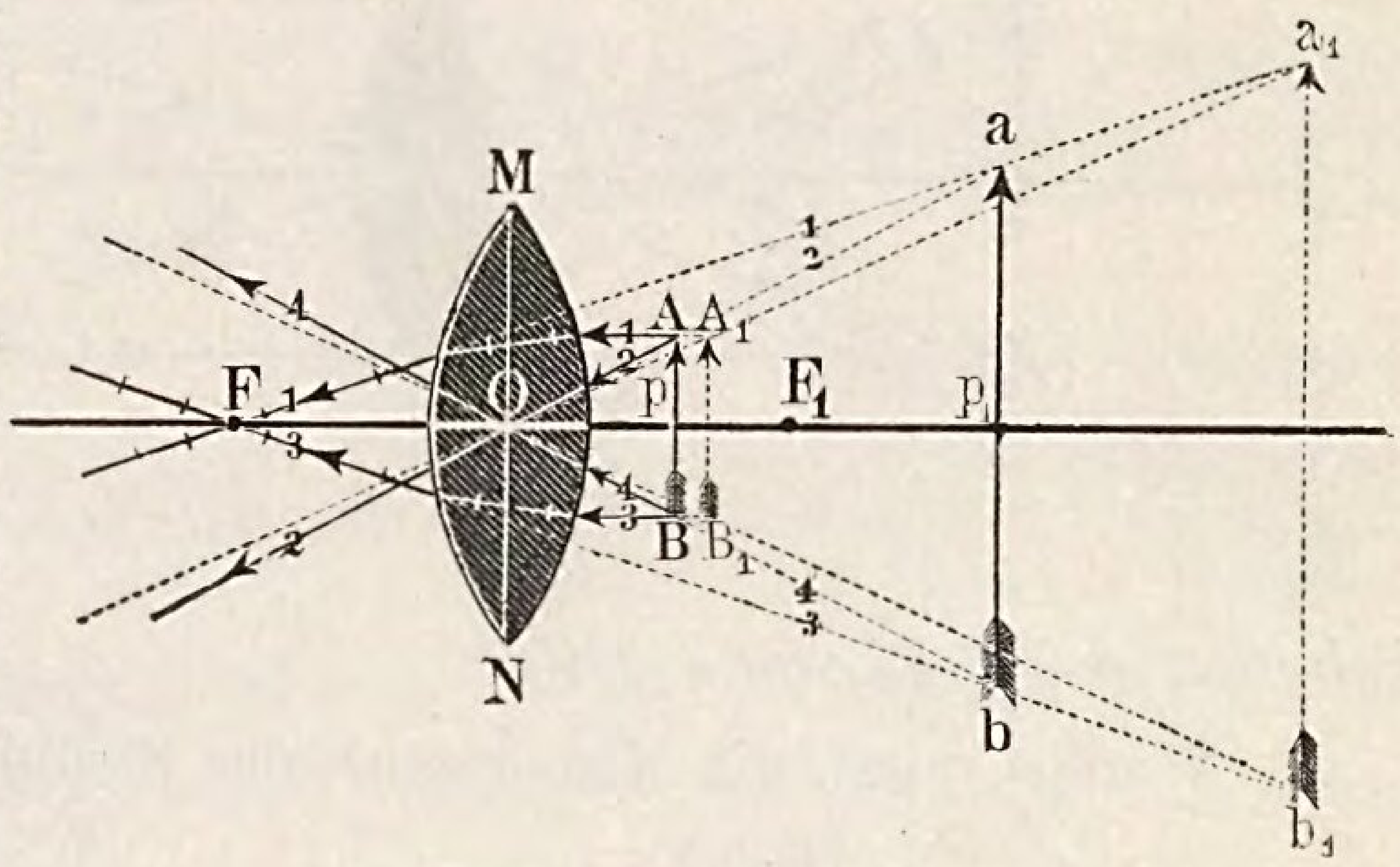
Übungsstoff. 1. Hinter einem Wassertropfen entsteht im direkten Sonnenlichte ein kleiner, sehr heller Schein (Lichtkugeln der Schuhmacher), hinter einer mit W. gefüllten Glasröhre eine Lichtlinie. Erkl.! — 2. Glasziegel haben bisweilen linsenförmig gekrümmte Stellen. Welche Gefahr kann dadurch für ein Gebäude entstehen, dessen Dach derartige Ziegel enthält? — 3. In dem gläsernen Ölbehälter einer Petroleumlampe erscheint der Docht viel breiter als er wirklich ist; w.? — 4. In ein verdunkeltes Zimmer dringe ein Bündel paraller Sonnenstrahlen. Welche Ersch. wird sich zeigen, wenn man die Strahlen a. durch eine Konvexlinse, b. durch eine Konkavlinse hindurchgehen läfst? (Die geom. Form des von den Strahlen hell erleuchteten Raumes und die Veränderung dieser Form ist anzugeben). — 5. Welche Ersch. wird man wahrnehmen, wenn man den Ausschnitt des Schirmes (Fig. 361) betrachtet und dabei eine Sammel- oder eine Zerstreuungslinse vor dem Auge bewegt? — 6. Welche Arten von Linsen und Spiegeln haben ähnliche Lichtwirkungen? — 7. Wie läfst sich die Brennweite einer Konvexlinse durch einen Versuch bestimmen? (Fig. 364 und 366.)

§ 102.

1. Bilder durch Sammellinsen.

AB, Fig. 369 und 371, sei ein Gegenstand, von welchem Lichtstrahlen auf die Linse MN fallen; F und F_1 seien die beiden Brennpunkte der Linse. Um Lage und Gröfse des Bildes zu bestimmen, betrachten wir den Lauf zweier Strahlenpaare, welche den mittleren Teil der Linse treffen und von denen zwei Strahlen (1 und 3) d e r A c h s e p a r a l l e l sind, die beiden anderen (2 und 4) durch den o p t i s c h e n M i t t e l p u n k t O gehen (Hauptstrahlen). Erstere werden so gebrochen, dafs sie den Brennpunkt treffen; von letzteren kann bei geringer Dicke der Linse angenommen werden, dafs sie ungebrochen durch dieselbe hindurchgehen.

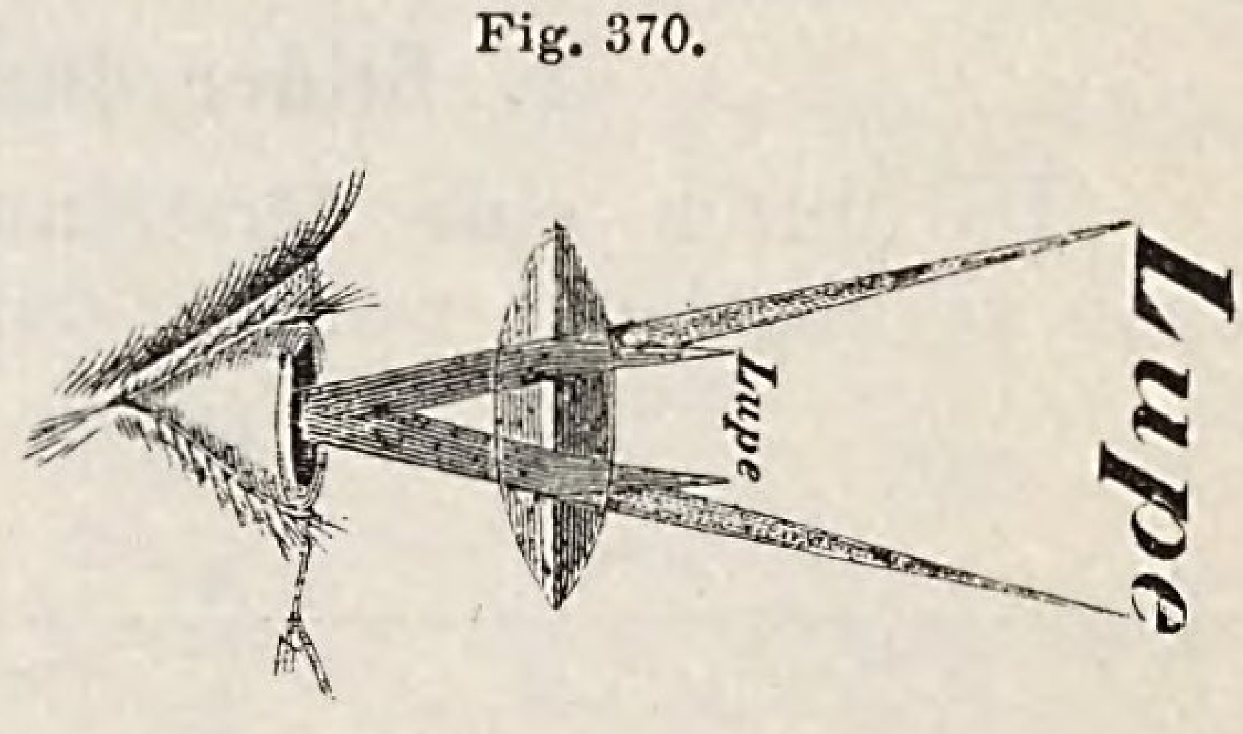
Fig. 369.



1. Befindet sich der Gegenstand **innerhalb der Brennweite,** so müssen die von demselben Punkte ausgehenden Strahlen hinter der Linse *divergieren,* da die von A und B aus parallel zur Achse gezogenen und bis zu den Linien Fa und Fb verlängert gedachten Geraden kleiner sind als die Strecke OF. Betrachtet man den Gegenstand durch die Linse, so erhält man demnach den Eindruck, als kämen die Strahlen von den Schnittpunkten (a und b) ihrer nach rückwärts gerichteten Verlängerungen. Wegen dieser s c h e i n b a r e n V e r e i n i g u n g der von denselben Punkten ausgehenden Strahlen kann auch nur ein *aufrechtes s c h e i n b a r e s Bild* entstehen, das den Gegenstand an derselben Seite der Linse weiter entfernt und vergröfsert darstellt.

Würde AB etwa bis A_1B_1 von der Linse entfernt, ohne seine Lage gegen die Achse zu ändern, so behalten die mit der Achse parallel laufenden Strahlen (1 und 3) ihre Lage bei, die durch O gehenden Strahlen (2 und 4) aber nähern sich der Achse. Dadurch rücken die scheinbaren Schnittpunkte der Strahlen weiter von der Linse weg (a_1 und b_1) und das Bild wird gröfser. — B e s t ä t i g u n g durch den Versuch nach Fig. 370.

Fig. 370.

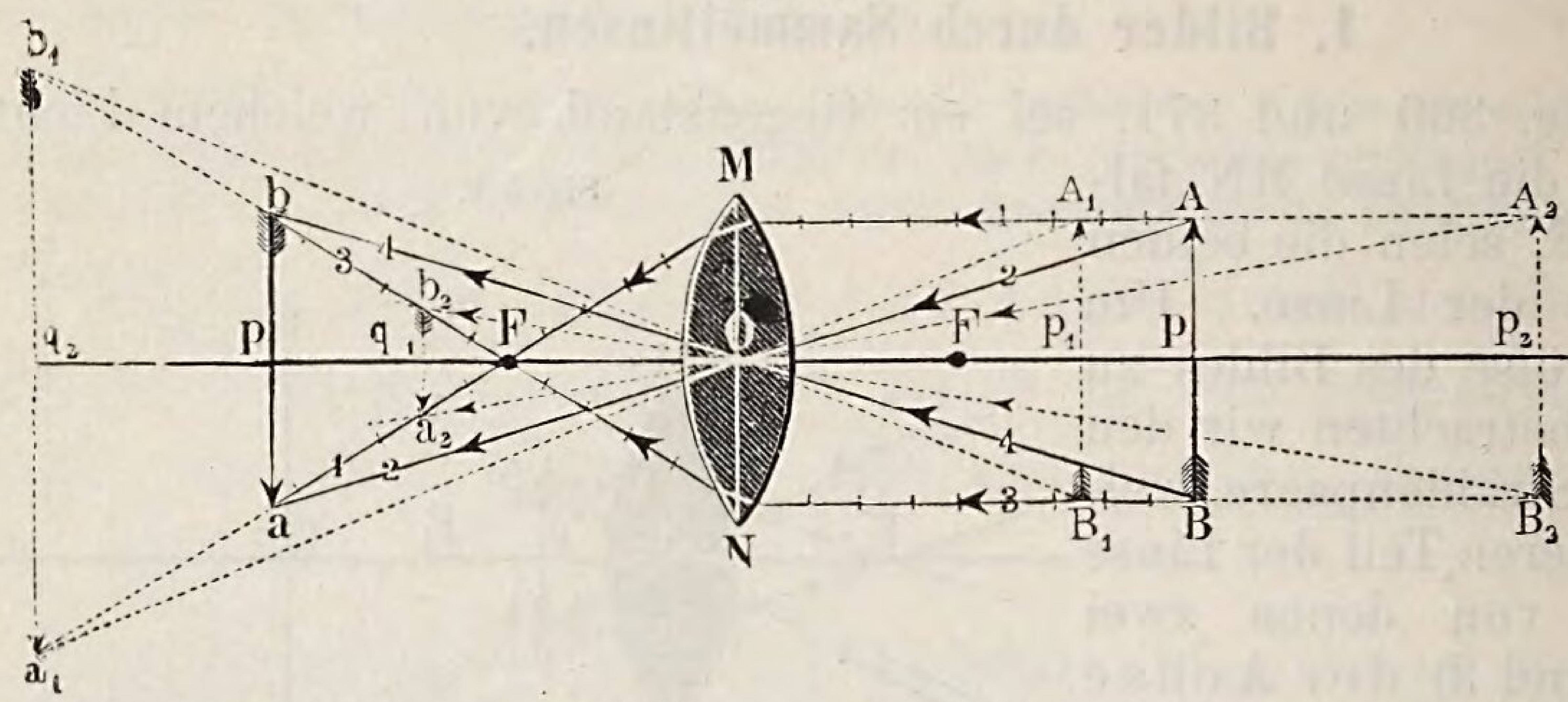


Betrachtet man durch eine **Sammellinse** einen **in der Brennweite** derselben befindlichen Gegenstand, so erblickt man v o r d e r L i n s e e i n a u f r e c h t e s s c h e i n b a r e s B i l d d e s G e g e n s t a n d e s.

Das Bild ist um so g r ö f s e r und um so w e i t e r von der Linse entfernt, je mehr man den Gegenstand dem Brennpunkte der Linse nähert.

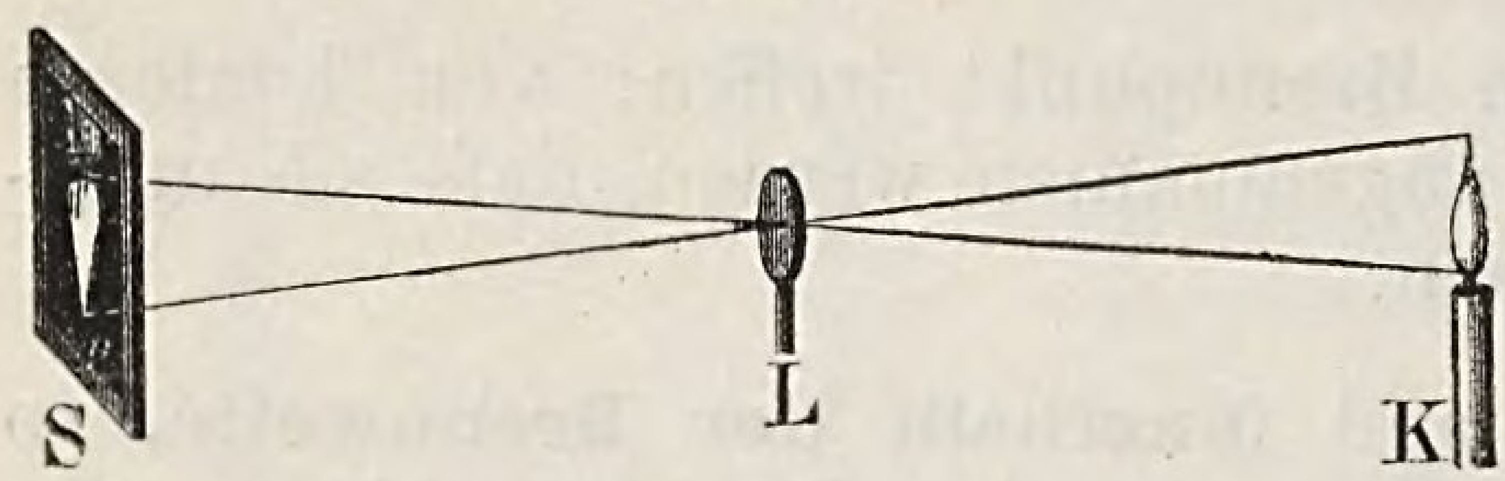
2. Der Gegenstand (AB) befinde sich **außerhalb der Brennweite** der Linse. Da die von demselben Punkt ausgehenden Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Linse *konvergieren*, so entsteht ein *umgekehrtes, wirkliches Bild.*

Fig. 371.



Woraus folgt die Konvergenz der Strahlen? — Welchen Einfluſs muſs dies auf die Lage und Gröſse des Bildes ausüben? — Nur bei welchem der beiden Strahlenpaare kann die in der Figur angedeutete Parallelverschiebung des Gegenstandes eine Änderung der Lage bewirken; inwiefern? — Bestätigung durch den in Fig. 372 angedeuteten Versuch.

Fig. 372.



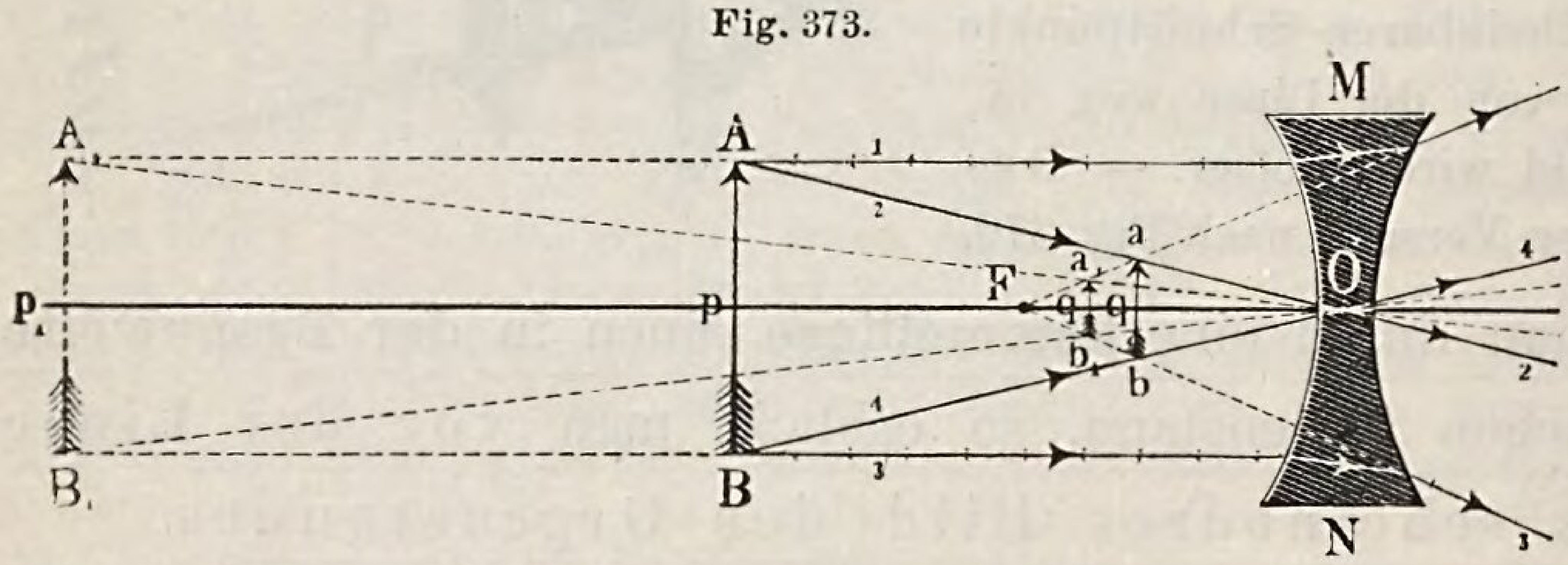
Von einem Gegenstande, welcher sich vor einer Sammellinse **außerhalb der Brennweite** befindet, entsteht hinter der Linse ein umgekehrtes, wirkliches Bild.

Bild und Gegenstand sind gleichgroſs und gleichweit von der Linse entfernt, wenn der Gegenstand um die doppelte Brennweite von der Linse entfernt ist. Das Bild wird um so gröſser und entfernt sich um so weiter von der Linse, je mehr man den Gegenstand dem Brennpunkte nähert; es wird dagegen um so kleiner und nähert sich dem Brennpunkte um so mehr, je weiter man den Gegenstand von der Linse entfernt.

2. Bilder durch Zerstreuungslinsen.

Da durch eine Zerstreuungslinse gleich gerichtete Strahlen schon so abgelenkt werden, daſs sie sich immer weiter voneinander entfernen, so müssen Strahlen, welche von einem Punkte ausgehen, also schon vor der Linse divergieren, durch die Linse stets noch stärker zerstreut werden. Zerstreuungslinsen können demnach (wie erhabene Spiegel) nur *aufrechte, scheinbare Bilder* hervorrufen.

Fig. 373.



Erkläre Fig. 373. — Bestätigung durch den Versuch.

Betrachtet man einen Gegenstand durch eine **Zerstreuungslinse,** so entsteht ein aufrechtes, scheinbares Bild; der Gegenstand erscheint um so stärker verkleinert, je weiter er von der Linse entfernt ist.

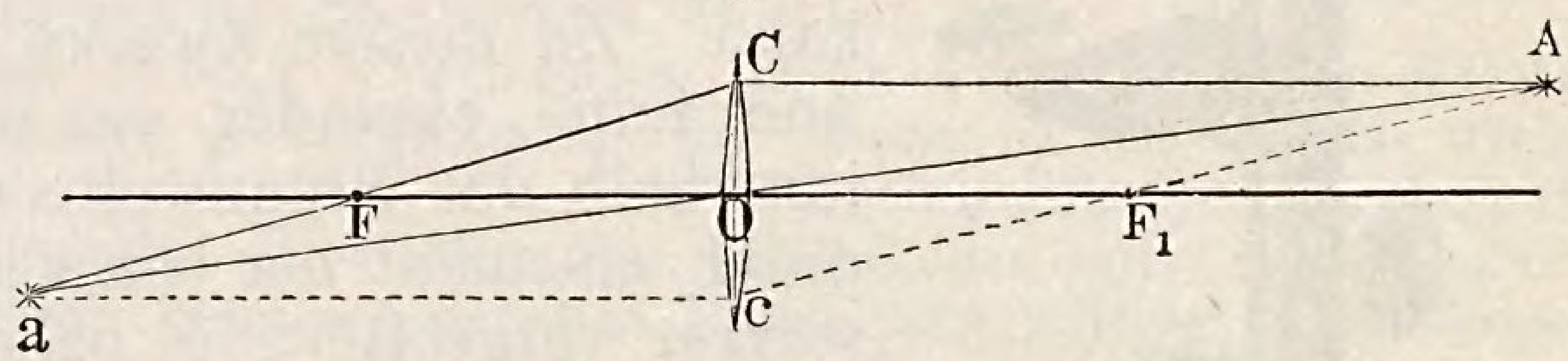
Wenn in Fig. 369, 371 und 373 E und e die Strecken der Achse bezeichnen, um welche Gegenstand und Bild vom optischen Mittelpunkte der Linse entfernt sind, so ergiebt sich über die Gröfse der Bilder die Proportion ab : AB = e : E. Begründe dieselbe und sprich sie in Worten aus!

Ableitung eines allgemeinen Gesetzes für dünne Linsen mit kleiner Öffnung.

Obige Sätze lassen sich, wie die Sätze über sphärische Spiegel, in folgenden Ausdruck zusammenfassen: *Die reciproke Brennweite ist gleich der Summe aus der reciproken Gegenstandsweite und der reciproken Bildweite;* in Zeichen: $\frac{1}{f} = \frac{1}{E} + \frac{1}{e}$, wenn f die Brennweite, E die Entfernung des Gegenstandes, e die des Bildes von der Linse bedeutet. (Für $E < f$ wird in dieser Gleichung e negativ; vgl. Seite 245.)

Beweis: Fig. 374 stelle eine sehr dünne **Konvexlinse** mit kleiner Öffnung dar, F sei ein Brennpunkt der Linse, O der optische Mittelpunkt, A ein leuchtender Punkt, a das Bild desselben, dessen Lage (wie oben) durch die Strahlen ACa und Aa bestimmt ist. Zieht man zunächst ac || zur Achse und verbindet c mit A, so läfst sich beweisen, dafs $OF_1 = OF$, wenn F_1 den Punkt bezeichnet, in welchem cA die Achse schneidet, dafs mithin Bild und Gegenstand vertauscht werden können, also F_1 der andere Brennpunkt der Linse ist. Es ist nämlich

Fig. 374.



	$Oa : OA = Oc : OC$,	da $\triangle Oac \sim \triangle OAC$.
Folglich	$(Oa + OA) : OA = (Oc + OC) : OC$	
oder	$aA : OA = cC : OC$.	
Nun ist auch	$aA : OA = ac : OF_1$,	weil $\triangle aAc \sim \triangle OAF_1$.
Mithin	$cC : OC = ac : OF_1$.	
Da nun ferner	$cC : OC = ac : FO$,	weil $\triangle Cac \sim \triangle CFO$,
so ist	$ac : OF_1 = ac : FO$,	also $OF_1 = FO$.

Zu der Gleichung des obigen Gesetzes gelangt man durch die Proportionen:

	$aO : OA = ac : CA$	(Grund?) und
	$aO : OA = cF_1 : F_1A$	(Grund?).
Folglich	$ac : CA = cF_1 : F_1A$	oder, wenn C, also auch c, der Achse sehr nahe liegt, nach obiger Bezeichnung annähernd
	$e : E = f : (E - f)$,	woraus sich nach Auflösnng und Division durch eEf das Gesetz ergiebt.

Für subjektive Bilder erhält man, wie bei den Kugelspiegeln, e negativ. Für **Konkavlinsen** ist in der Reciprokengleichung aufserdem f negativ zu setzen.

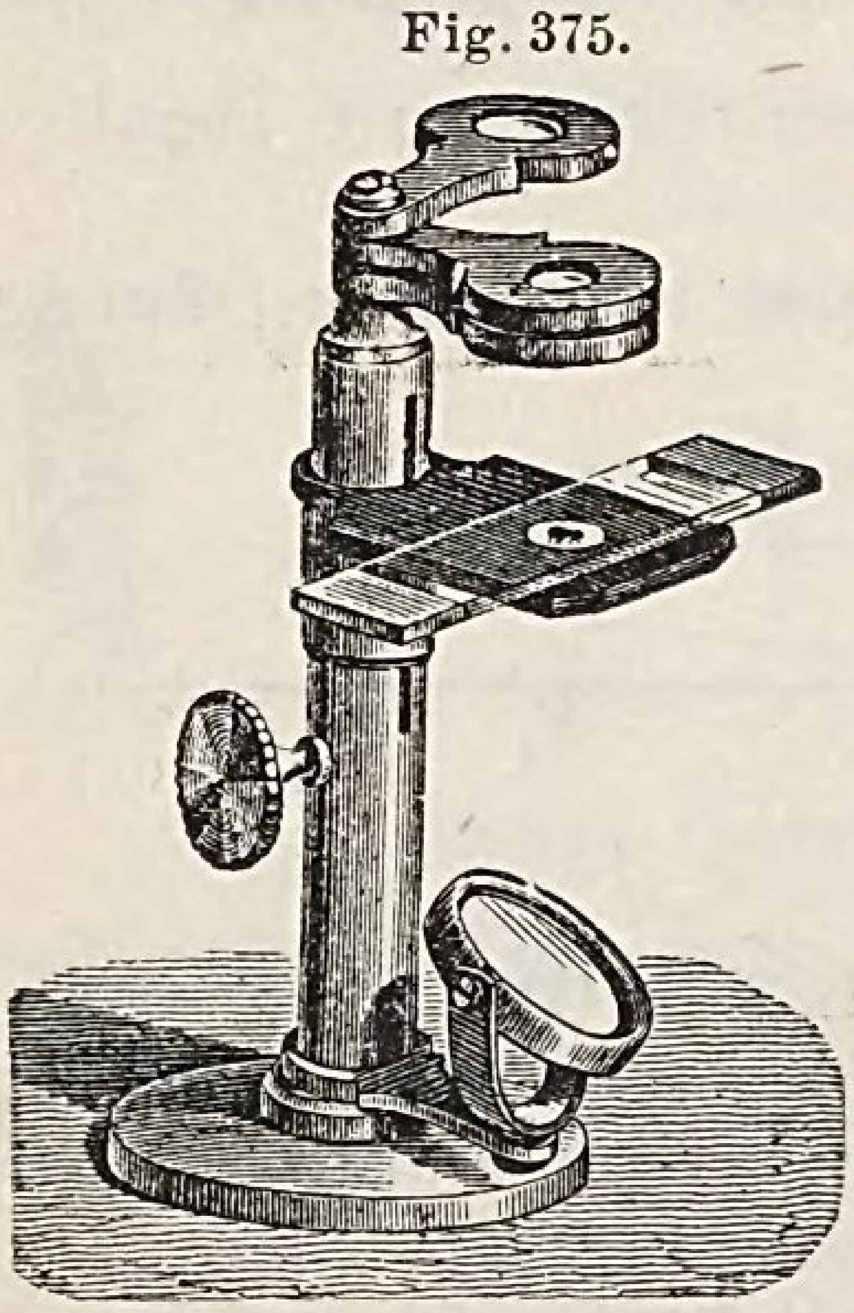
Übungsstoff. 1. Warum kann man die scheinbaren Bilder nicht mittelst eines Schirmes auffangen? — 2. Wie erkennt man, indem man durch eine Sammellinse die Schrift eines Buches betrachtet, ob letztere in- oder aufserhalb der Brennweite der Linse liegt? — 3. Wie werden entfernte Gegenstände erscheinen, wenn man a. eine Zerstreuungs-, b. eine Sammellinse zwischen das Auge und den Gegenstand hält (normalsichtiges Auge und richtige Haltung der Linsen vorausgesetzt),

und an welcher Seite der Linsen entstehen dabei die Bilder? — 4. Warum darf hierbei nur die Zerstreuungslinse dem Auge beliebig genähert werden? — 5. Unter einem Wassertropfen erscheint ein Gegenstand (etwa kleine Schrift) heller und gröſser. Erkl.! — 6. Eine ziemlich weite Probierröhre mit kugelig gewölbtem Boden soll mit Zuhilfenahme von W. so eingerichtet werden, daſs sie als Vergröſserungsglas dienen kann; desgl. ein Stückchen starkes Papier mit etwa 5 mm weiter, kreisrunder Öffnung und ein Wassertropfen. Ausführung und Erkl.! — 7. Durch eine ganz mit W. gefüllte Probierröhre erscheint kleine Schrift sehr nahe vor der Röhre bei bestimmter Haltung entweder nur höher oder breiter. Erkl.! — 8. Wie groſs ist die Brennweite einer Bikonvexlinse, wenn von einer 60 cm von derselben entfernten Flamme 40 cm hinter der Linse ein Bild entsteht!

C. Die optischen Instrumente und das Auge.

§ 103. Lupe und Mikroskop. Eine **Lupe** besteht entweder nur aus einer einzigen Sammellinse von kurzer Brennweite, oder es sind mehrere derartige Linsen miteinander verbunden. Man benutzt sie zur Betrachtung kleiner Gegenstände, welche man mit dem bloſsen Auge nicht deutlich genug erkennen kann. Zu diesem Zwecke nähert man Gegenstand und Lupe einander so weit, daſs ersterer sich innerhalb der Brennweite der Lupe befindet. Dadurch erscheint der betrachtete Gegenstand um so stärker vergröſsert, je näher er dem Brennpunkte liegt (vgl. Fig. 369). — Lupen, welche mit einem Stativ und mit einem Beleuchtungsspiegel versehen sind, werden **einfache Mikroskope**[1]) genannt (Fig. 375).

Fig. 375.



S t ä r k e d e r V e r g r ö ſ s e r u n g e i n e r L u p e. Nach Fig. 369 ist das Bild sovielmal so groſs als der betrachtete Gegenstand, wievielmal *die Gegenstandsweite (E) in der Bildweite (e) enthalten ist* $\left(\frac{e}{E}\right)$. Letztere kann höchstens gleich der deutlichen Sehweite sein (24 cm für ein gesundes Auge). — Da der Gegenstand bei dieser Entfernung dem Brennpunkte der (dicht vor das Auge gehaltenen) Lupe schon sehr nahe liegen muſs, so erhält man die Vergröſserung *annähernd*, wenn man d i e d e u t l i c h e S e h w e i t e (24 cm) d u r c h d i e B r e n n w e i t e d i v i d i e r t. Beträgt z. B. die Brennweite 4 cm, so ergiebt sich eine 6fache (lineare) Vergröſserung. — *Genaueres* läſst sich aus der Gleichung $\frac{1}{f} = \frac{1}{E} - \frac{1}{e}$ (Seite 257) ableiten. Multipliziert man mit e, so erhält man $\frac{e}{f} = \frac{e}{E} - 1$ oder: $\frac{e}{E} = \frac{e}{f} + 1$, wonach sich die vorhin berechnete Vergröſserung als um 1 zu klein erweist.

Die Brennweite einer einfachen Lupe ist gewöhnlich ungefähr 6 cm, die stärkste Vergröſserung also etwa eine 5fache (linear). Stärkere brauchbare (höchstens 20fache) Vergröſserungen lassen sich besser durch ein S y s t e m v o n m e h r e r e n L i n s e n (Fig. 375) als durch eine einzelne Linse erreichen, da die s p h ä r i s c h e A b w e i c h u n g d a d u r c h g e r i n g e r und das G e s i c h t s f e l d g r ö ſ s e r wird als bei einer einfachen Lupe mit gleicher Brennweite.

Die **zusammengesetzten Mikroskope** bestehen in ihrer einfachsten Einrichtung aus z w e i S a m m e l l i n s e n, welche an den beiden Enden

[1]) μικρός (m i k r ó s), klein und σκοπεῖν (s k o p e i n), schauen.

einer innen geschwärzten Messingröhre befestigt sind. Die eine dieser beiden Linsen (O, Fig. 376) soll von dem kleinen Gegenstande AB ein möglichst grofses wirkliches Bild (a b) erzeugen und wird daher dem Gegenstande soweit genähert, dafs der Abstand etwas mehr als die Brennweite der Linse beträgt; die andere (o) dient als Lupe zur Betrachtung des entstandenen Bildes. Jene wird *Objektiv-*,[1]) diese *Okularlinse*[2]) genannt. Die Brennweite der Objektivlinse ist bedeutend kleiner als die der Okularlinse.

Fig. 376.

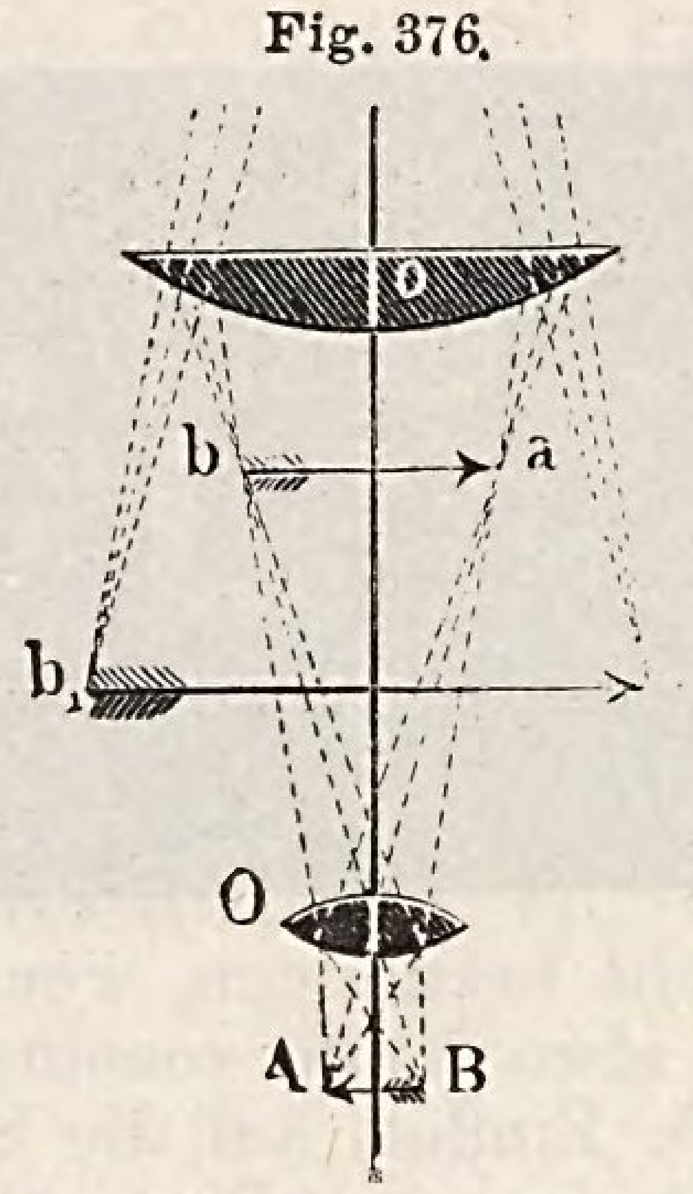


Fig. 377.

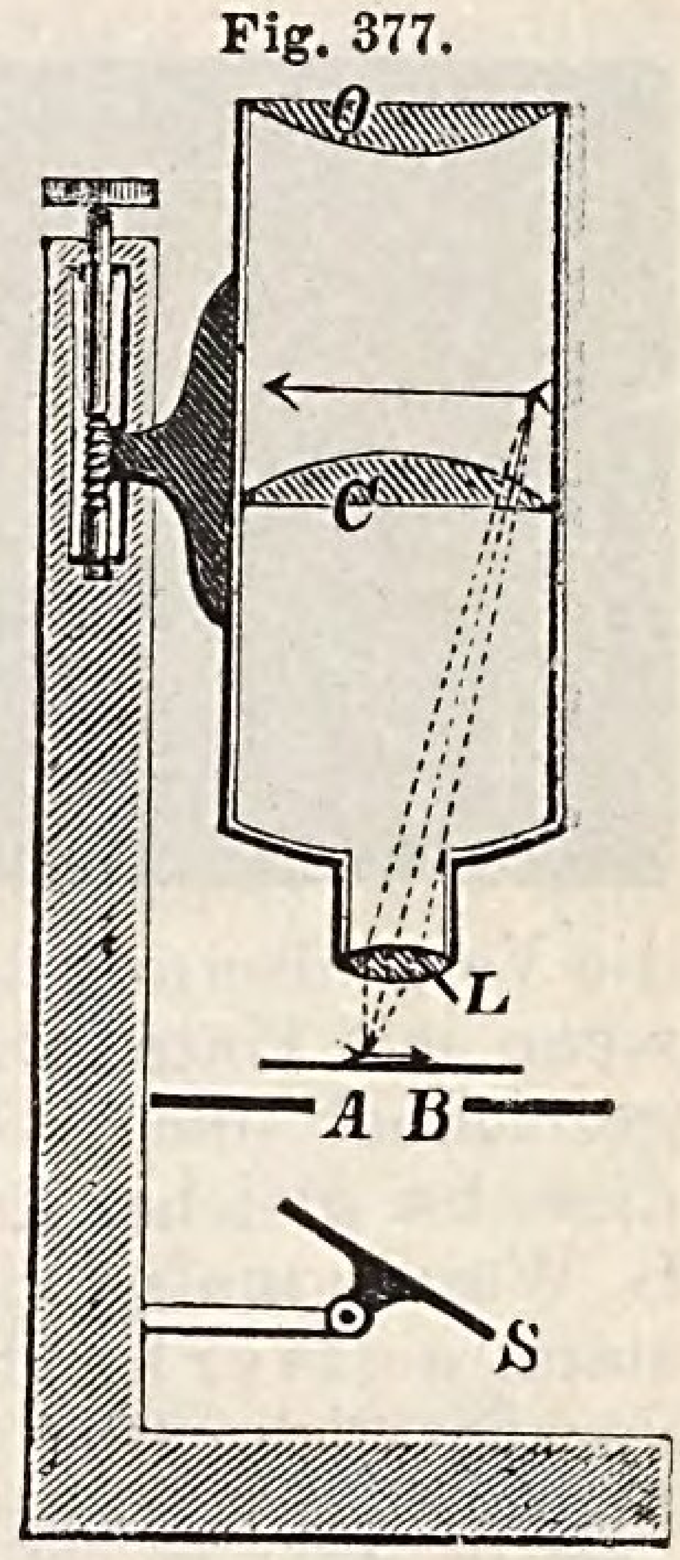


Fig. 377 stellt eine vollkommnere Einrichtung dar, bei welcher die Röhre des Mikroskopes noch eine sogen. Kollektivlinse[3]) (C) enthält. Beide zusammen werden als Okular bezeichnet, während die Objektivlinse oder das zu stärkeren Vergröfserungen dienende Linsensystem kurz Objektiv genannt wird. Die Kollektivlinse hat den Zweck, die vom Gegenstande kommenden Strahlen, ehe sie sich vereinigen, zu einem etwas kleineren, aber deutlicheren Bilde zu sammeln und das Gesichtsfeld zu vergröfsern. Im Okular ist da, wo das wirkliche Bild entsteht, ein quer gerichteter, schwarzer Blechring (Blende) angebracht, welcher alle Randstrahlen abhält. Die Röhre des Mikroskopes oder der in seiner Mitte durchbohrte Objekt-Tisch kann zur genauen Einstellung mittelst einer feinen Schraube am Stativ langsam auf- und abbewegt werden. Damit das Bild hell genug erscheint, wird der zu betrachtende Gegenstand durch einen kleinen Hohlspiegel (S) beleuchtet.

Die Güte eines Mikroskopes hängt weniger von der Stärke der Vergröfserung, als von der Klarheit und Schärfe der Bilder ab. Die Vergröfserung wird hauptsächlich durch das Objektiv bewirkt. Die gewöhnlichen, zur Fleischuntersuchung dienenden Mikroskope vergröfsern nur 50—150mal, während die stärksten eine 1500- bis 2000fache Linienvergröfserung bewirken. — Das Mikroskop ist wahrscheinlich von einem Holländer Jansen (um 1600) erfunden worden.

Das Sonnenmikroskop dient dazu, kleine Gegenstände auf einem Schirm stark vergröfsert darzustellen. Es besteht aus einer Röhre, welche an einem Ende zur Erzeugung eines Bildes eine kleine Objektivlinse und am anderen Ende zur Beleuchtung des Gegenstandes eine gröfsere Sammellinse enthält. Die Röhre wird im Fensterladen eines verdunkelten Zimmers so befestigt, dafs direkte Sonnenstrahlen durch die Sammellinse einfallen können, wozu ein Spiegel zu Hilfe genommen wird (siehe Fig. 405). Da der Gegenstand sich nahe dem Brennpunkte der Objektivlinse befindet, so erscheint von ihm auf einem weifsen Schirme ein grofses, lichtstarkes Bild.

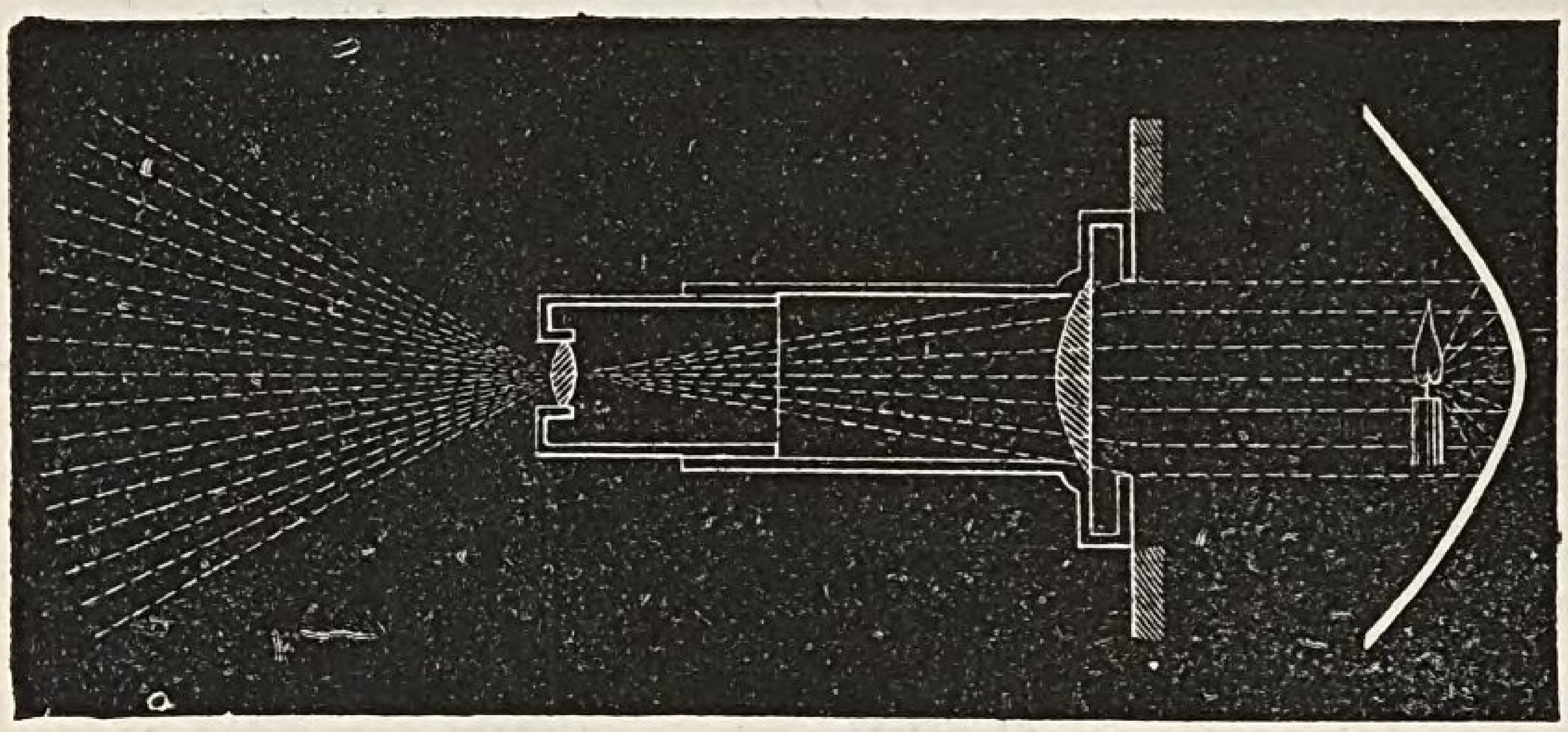
Statt des Sonnenlichtes läfst sich auch künstliches Licht anwenden **(Skioptikon).**

Bei der sogen. **Zauberlaterne (laterna magica,** Fig. 378, folg. Seite) werden auf Glas gemalte Bilder verkehrt hinter den röhrenförmigen Ansatz eines laternenartigen Blechkastens geschoben und durch eine hell brennende Flamme mit Hilfe eines Hohlspiegels beleuchtet. Zur Erzeugung des Lichtbildes dienen gewöhnlich 2 gegeneinander verschiebbare Konvexlinsen.

[1]) objectum, der Gegenstand; [2]) oculus, das Auge; [3]) colligĕre, sammeln.

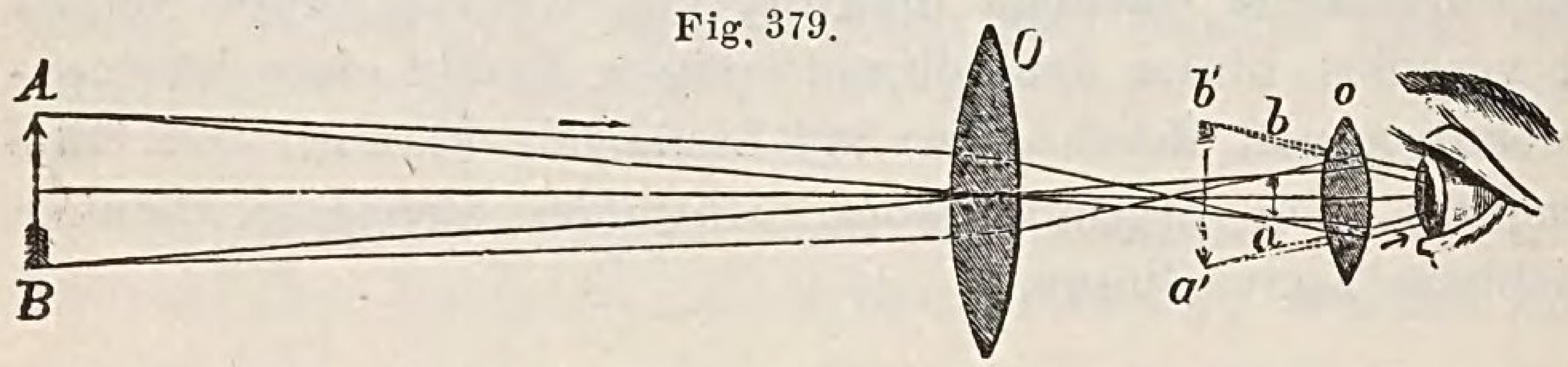
Übungsstoff. 1. Warum mufs bei einer Lupe der Gegenstand in die Brennweite und zwar dem Brennpunkte möglichst nahe und dicht vor das Auge gehalten werden? — 2. Inwiefern ist hierbei ein weitsichtiges Auge gegen ein kurzsichtiges im Vorteil? — 3. Der Rand der Lupe wird bei schwach vergröfsernden Linsen nur durch die Einfassung, bei stärker vergröfsernden durch eine besondere Blendscheibe verdunkelt. Zweck? — 4. Durch eine Lupe werde ein Millimetermafsstab betrachtet. Wie läfst sich hierbei die Vergröfserung leicht bestimmen, wenn ein gleicher Mafsstab daneben liegt, oder wenn mit Tinte zwei etwa 5 mm voneinander entfernte Punkte mitten auf die Lupe gezeichnet sind? — 5. Einflufs auf die Stärke der Vergröfserung einer Lupe, wenn diese bei gleicher Krümmung aus Diamant statt aus Glas hergestellt würde? (§ 99.) — 6. Warum mufs bei einem zusammengesetzten Mikroskop der zu betrachtende Gegenstand aufserhalb der Brennweite der Objektivlinse (dem Brennpunkte sehr nahe), das wirkliche Bild desselben dagegen innerhalb der Brennweite der Okularlinse liegen? — 7. Wie wird sich das Bild bewegen, wenn man den Gegenstand verschiebt, u. w.? — 8. Welche Flächenvergröfserung hat ein Mikroskop, das 100 mal linear vergröfsert? — 9. Welchen Einflufs mufs die Stärke der Vergröfserung auf die Lichtstärke des Bildes ausüben, u. w.? — 10. Die Vergröfserung eines Mikroskopes läfst sich dadurch bestimmen, dafs man einen auf Glas geritzten Mafsstab (Mikrometer), dessen Teilstriche etwa 0,1 mm voneinander abstehen, durch das Mikroskop betrachtet und einige Teilstriche in der Höhe des Objekttisches aufzeichnet. Wie hat man weiter zu verfahren? — 11. Zur bequemen Messung der betrachteten Gegenstände legt man auf die Blendung des Okulars ein Mikrometer, dessen Vergröfserungswert sich zunächst dadurch bestimmen läfst, dafs man auf den Objekttisch ein zweites, ebenso eingerichtetes Mikrometer legt und beide zugleich betrachtet. Gesetzt, es fallen dabei die Abstände von 10 aufeinander folgenden Teilstrichen auf einen solchen Abstand des unteren Mikrometers (siehe Frage 10): wie grofs ist dann ein betrachteter Gegenstand, wenn er den Raum zwischen zwei benachbarten Teilstrichen des oberen Mikrometers ausfüllt?

Fig. 378.



§ 104. Fernrohre. Während die Mikroskope den Zweck haben, nahe gelegene, kleine Gegenstände stark zu vergröfsern, dienen die Fernrohre dazu, von weit entfernten Gegenständen Bilder zu erzeugen, sodafs die Gegenstände dem Auge genähert und dadurch deutlicher erscheinen. Da man die zu betrachtenden Gegenstände nicht wie beim Mikroskope nach Belieben beleuchten kann, so sucht man die erforderliche Lichtstärke der Bilder bei den Fernrohren dadurch zu erreichen, dafs man grofse Objektive anwendet, denn je gröfser der Durchmesser des Objektivs ist, desto mehr Strahlen können von denselben Punkten des Gegenstandes ins Fernrohr gelangen.

Fig. 379.



1. Das astronomische oder Keplersche Fernrohr (Fig. 379) dient zur Betrachtung der Gestirne und erzeugt ein umgekehrtes Bild. Es besteht, wie das zusammengesetzte

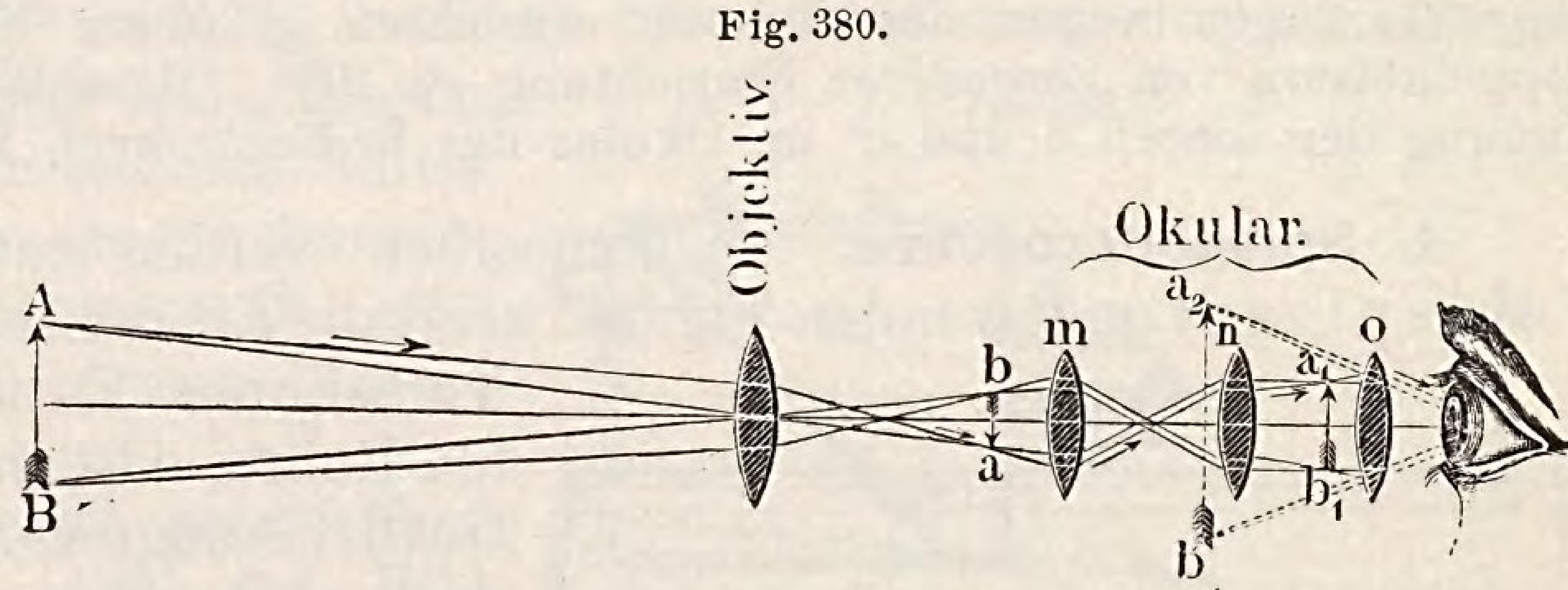
Mikroskop, im wesentlichen aus zwei Sammellinsen, nämlich aus einer *Objektivlinse* (O) von grofser und einer *Okularlinse* (o) von kleiner Brennweite. Okular- und Objektivlinse können zur genauen Einstellung gegeneinander verschoben werden.

Das im Fernrohre entstehende wirkliche Bild (ab) des Gegenstandes (AB) erscheint durch die Okularlinse vergröfsert (a^1b^1). Wie beim Mikroskop befindet sich im Okular gewöhnlich noch eine Kollektivlinse, durch welche das objektive Bild zwar etwas kleiner, aber deutlicher wird. Der Durchmesser der Objektivlinse kann über 50 cm betragen, die Vergröfserung eine mehrtausendfache sein.

Das astronomische Fernrohr giebt von allen Linsenfernrohren die hellsten und klarsten Bilder. Es wurde von Kepler (1611) erfunden.

2. Das terrestrische oder Erdfernrohr (Fig. 380) wird zur Betrachtung irdischer Gegenstände angewandt. Damit diese im Rohre aufrecht erscheinen, ist das aus 3 (oder 4) Linsen bestehende *Okular* ähnlich wie ein *zusammengesetztes Mikroskop* eingerichtet.

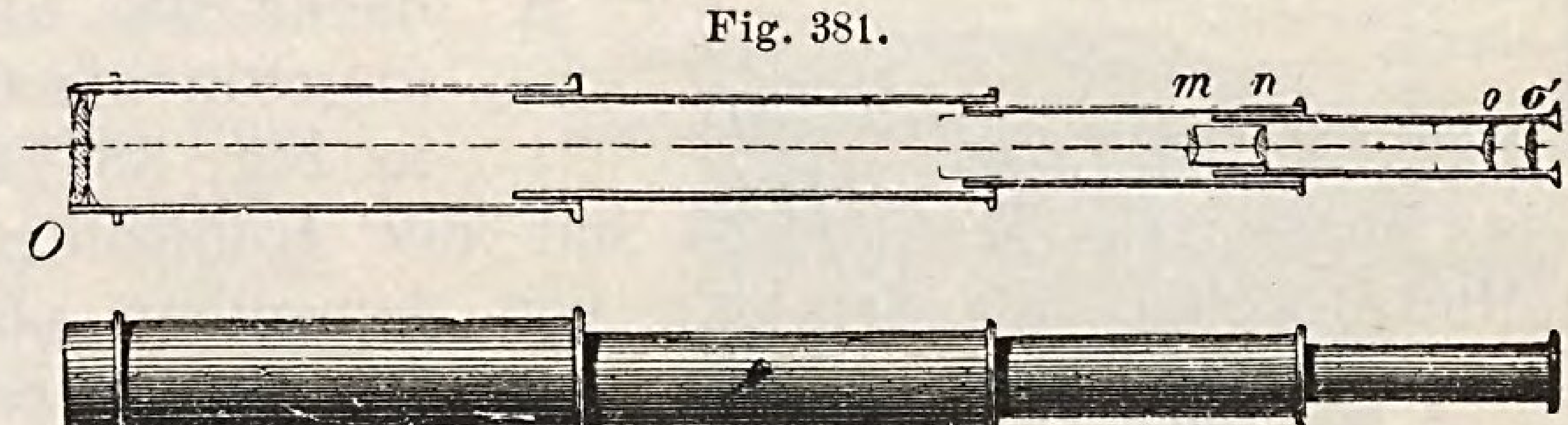
Fig. 380.



Die dem Objektiv am nächsten gelegene Linse (m) des Okulars hat den Zweck, die Richtung der Strahlen so zu ändern, dafs das vom Objektiv erzeugte umgekehrte Bild ab des Gegenstandes wieder aufrecht wird. Um ein möglichst klares Bild zu erhalten, läfst man die Strahlen noch durch eine Kollektivlinse (n) gehen. Das auf diese Weise entstandene, aufrechte Bild (a_1b_1) erscheint durch die dem Auge am nächsten gelegene Linse o (oder bei noch vollkommnerer Einrichtung durch zwei flachere Linsen o und o', Fig. 381) wie durch eine Lupe vergröfsert (a_2b_2, Fig. 380).

Zum bequemeren Transport auf Reisen wird das Erdfernrohr gewöhnlich aus mehreren ineinander verschiebbaren Röhren zusammengesetzt (Fig. 381). Die Linsen des Okulars haben eine unveränderliche Stellung gegeneinander. — Die Vergröfserung des Erdfernrohres ist gewöhnlich eine 20- bis 30fache, selten eine mehrhundertfache.

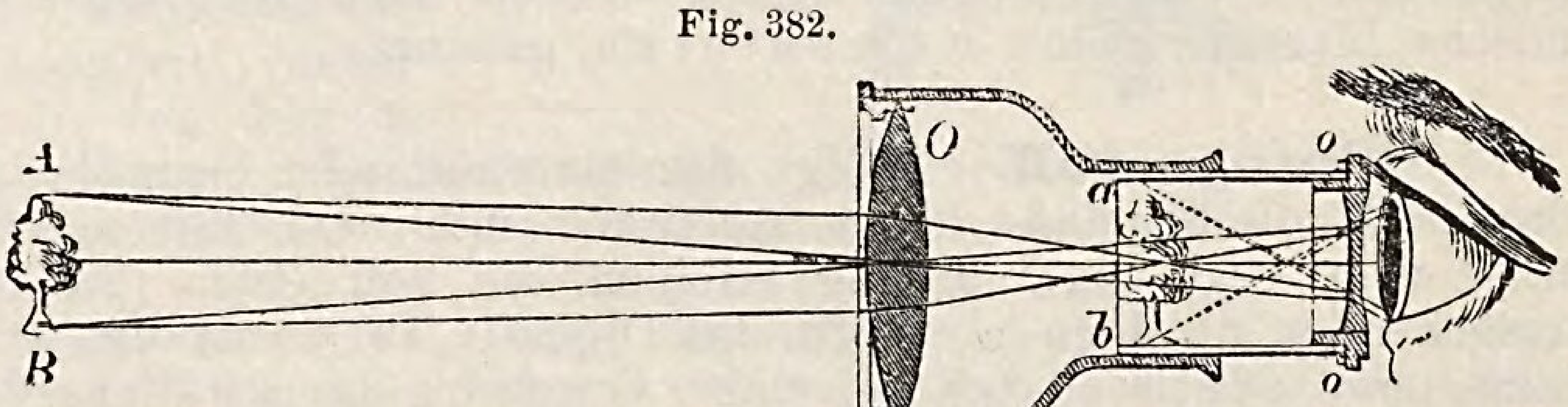
Fig. 381.



Das Erdfernrohr ist 1645 von einem Mönch des Klosters Rheit in Böhmen, Namens Schyrl, erfunden worden.

3. Das holländische oder Galileische Fernrohr (Fig. 382) dient wie das Erdfernrohr zur Betrachtung irdischer Gegenstände, unterscheidet sich aber von jenem wesentlich durch sein einfaches, eigenartiges *Okular*. Das Okular wird nämlich von einer *Zerstreuungslinse* (o) gebildet, die vor der Stelle angebracht ist, an

Fig. 382.



welcher die durch das *Objektiv* (O) hindurchgegangenen Strahlen sich zu einem wirklichen Bilde vereinigen würden. Dadurch werden die Strahlen wieder zerstreut und die Gegenstände erscheinen wie beim Erdfernrohre in ihrer wirklichen Lage.

Die kleineren Fernrohre von dieser Einrichtung werden Operngläser oder Theaterperspektive, die gröfseren Feldstecher genannt. Erstere gewähren eine 2- bis 3fache, letztere höchstens eine 20- bis 30fache Vergröfserung.

Das holländische wurde von allen Fernrohren zuerst erfunden, und zwar wurde ein Brillenmacher Lippershey 1608 durch eine zufällige Entdeckung auf diese wichtige Erfindung geführt. Kurze Zeit darauf stellte Galilei, ohne jene Einrichtung zu kennen, ein Fernrohr von gleicher Beschaffenheit her und verwendete es zu seinen astronomischen Beobachtungen.

Bem. Die Objektivlinsen in Mikroskopen und Fernrohren bestehen bei starken Vergröfserungen wegen der dadurch erreichten gröfseren Klarheit der Bilder aus Doppelgläsern von besonderer Einrichtung (§ 109). Denselben Zweck hat die Verbindung der Linsen o und o′ im Okular des Erdfernrohres, Fig. 381.

4. Spiegelfernrohre. In demselben werden statt der Objektivlinsen Hohlspiegel angewendet. Fig. 383 zeigt die Einrichtung des **Newtonschen Teleskopes.** Es besteht aus einem weiten Rohre, das an dem vorderen, dem Gestirne zugewandten Ende offen ist und am anderen Ende einen grofsen *Hohlspiegel* (S) enthält, welcher die einfallenden Strahlen wieder zurückwirft. Bevor diese sich zu einem Bilde vereinigen können, fallen sie auf einen kleinen, im Innern des Rohres angebrachten ebenen Spiegel (s), welcher gegen die Achse des Rohres unter 45^0 geneigt ist und daher die Strahlen in das seitlich angebrachte *Okular* wirft. — In dem in Fig. 384 dargestellten Spiegelteleskope von Herschel hat der Hohlspiegel selbst eine schräge Stellung, sodafs die Strahlen von demselben ohne Vermittelung eines Planspiegels nach dem am unteren Rande der Rohröffnung befindlichen *Okular* zurückgeworfen werden.

Fig. 383.

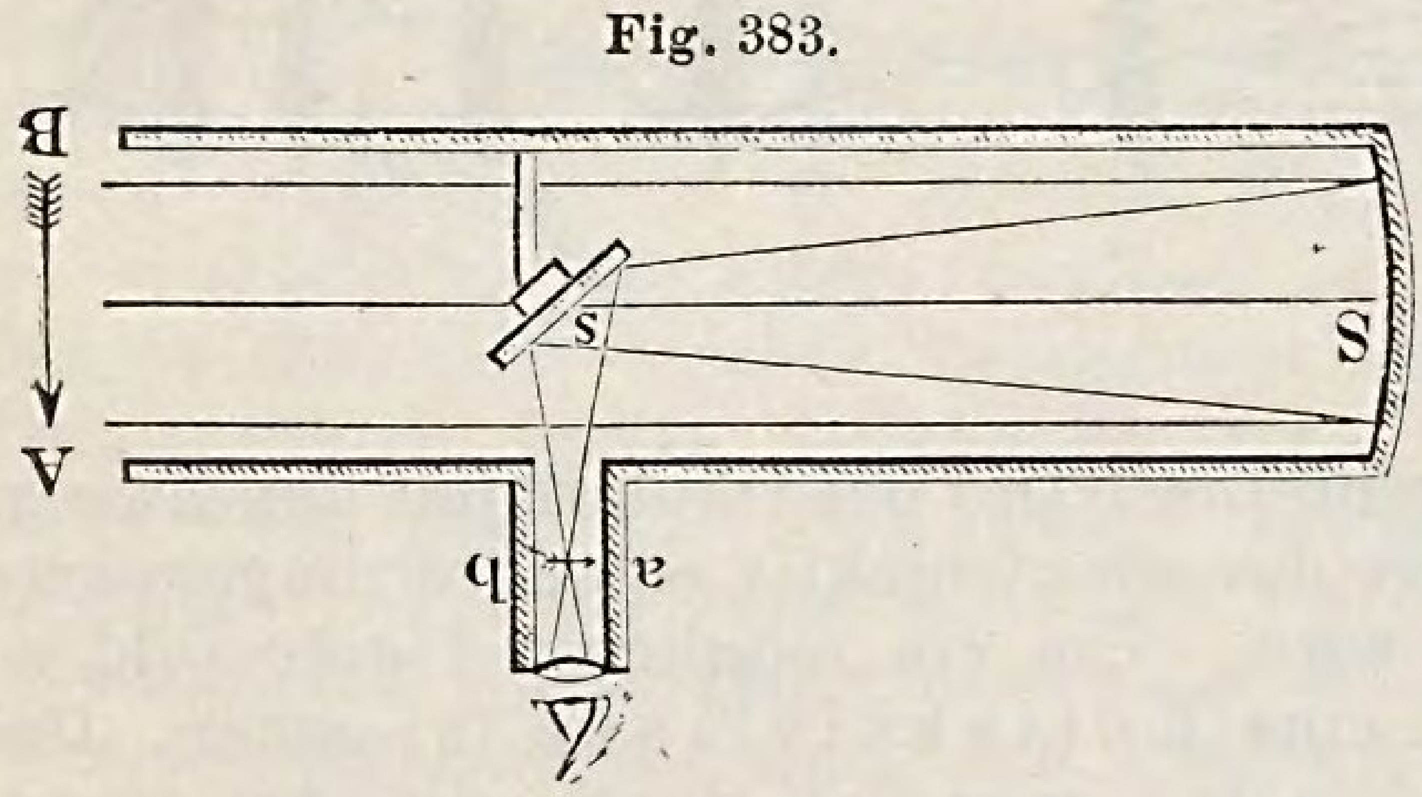
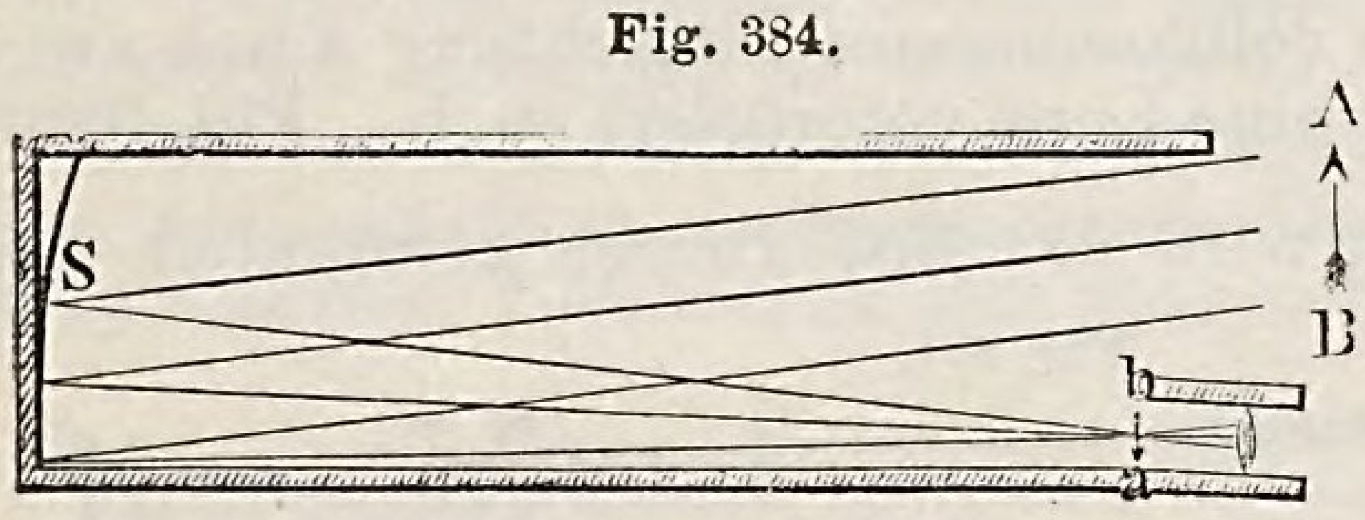


Fig. 384.



Newton gab dem 1663 von Gregory in England erfundenen Spiegelfernrohre die beschriebene Einrichtung. Das von Herschel (1789) hergestellte Fernrohr hatte einen Durchmesser von 1½ m und eine 7000fache Vergröfserung. Statt der Metallspiegel werden neuerdings mit noch gröfserem Erfolge versilberte Glasspiegel angewandt. — Die Spiegelfernrohre werden auch Reflektoren, grofse astronomische Linsenfernrohre Refraktoren genannt.

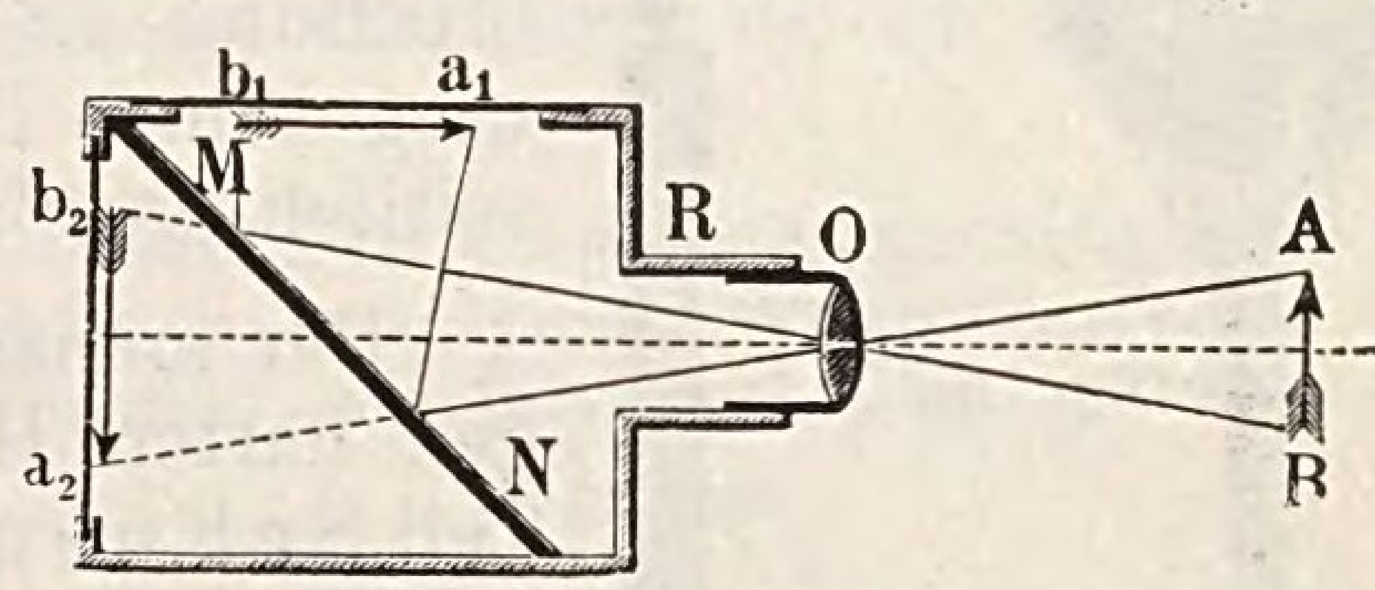
Übungsstoff. 1. Vgl. das astronomische Fernrohr mit dem Mikroskope, das holländische und das terrestrische mit dem astronomischen Fernrohre. — 2. Welche Richtungsänderung erleiden die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden Strahlen a. durch das Objektiv, b. durch das Okular? — 3. Woraus kann man schliefsen, dafs bei einem Fernrohre das wirkliche Bild dem Brennpunkte der Objektivlinse sehr nahe liegen mufs? — 4. Welche Lage mufs beim Mikroskop wie beim astronomischen Fernrohre das wirkliche Bild gegen die Okularlinse haben, u. w.? — 5. Die Linsen m und n (Fig. 380) sind um die Summe ihrer Brennweiten

voneinander entfernt; zwischen denselben wird eine Blende angebracht, wo und w.? — **6.** Gehört die Kollektivlinse eines optischen Instrumentes ihrer Wirkung nach zum Objektiv oder zum Okular; w.? — **7.** Warum müssen Fernrohre und Mikroskope für verschiedene Personen meist auch verschieden eingestellt werden? — **8.** Beim Mikroskop haben Okular und Objektiv eine unveränderliche Lage gegeneinander. Wie ist daher die genaue Einstellung auszuführen? — **9.** Inwiefern hängt es mit der Richtung, welche den Strahlen durch die Okularlinse erteilt wird, zusammen, dafs das Gesichtsfeld beim Galileischen Fernrohre verhältnismäfsig kleiner ist als beim Keplerschen? — **10.** Angenommen, man blickte mit dem einen Auge durch ein Fernrohr, mit dem andern direkt nach einem Ziegeldache und sähe zu, wieviel Ziegelsteine auf einen Stein des Bildes fallen. Wie liefse sich dadurch die Stärke der Vergröfseruug des Instrumentes annähernd bestimmen?

§ 105. Die Camera obscura und das Auge.

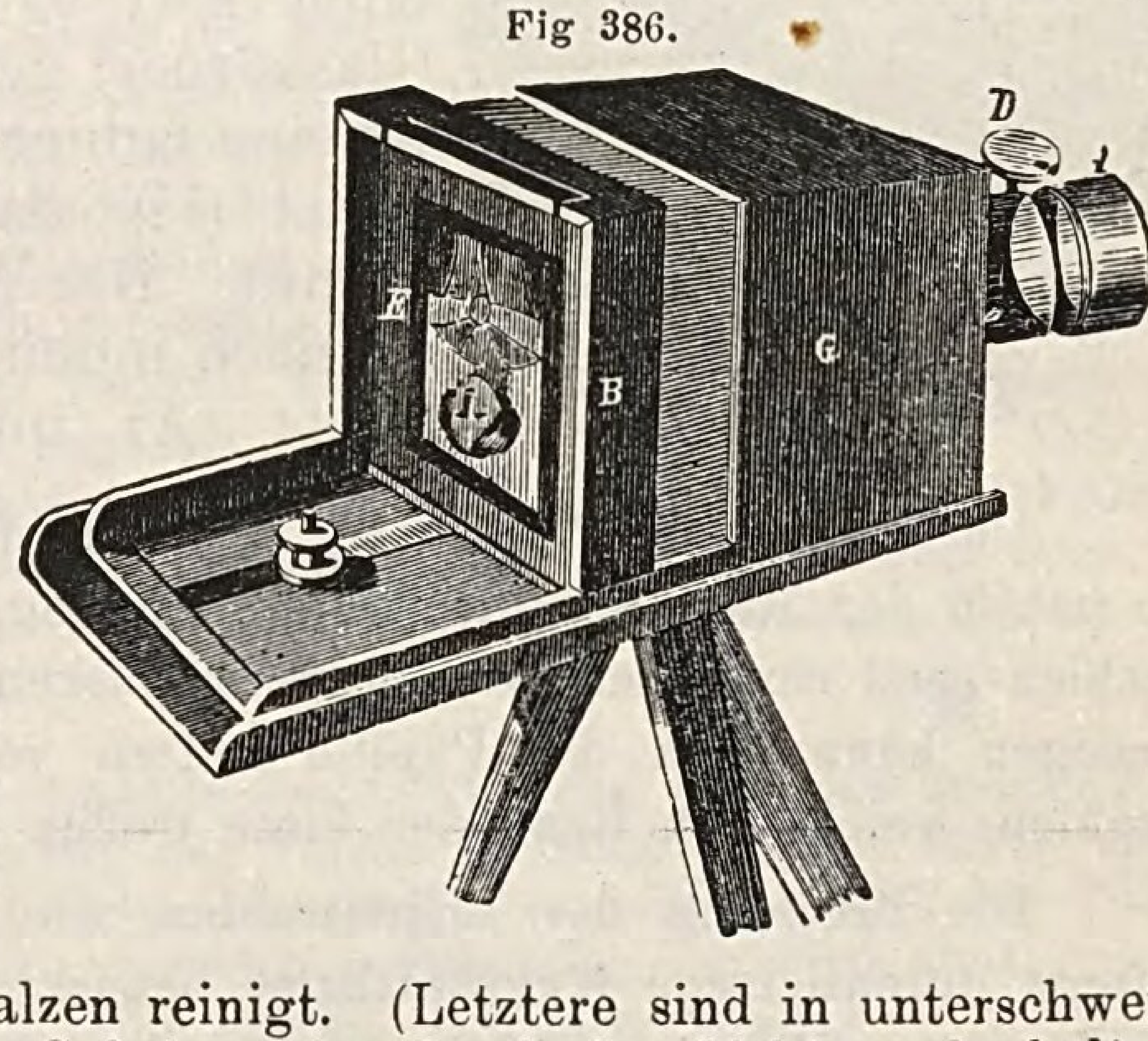
Als **Camera obscura** oder Dunkelkammer bezeichnet man einen innen geschwärzten *Kasten* (Fig. 385), dessen Vorderwand zur Erzeugung eines objektiven Bildes in einem kurzen, verschiebbaren Ansatzrohre (R) eine *Sammellinse* (O) und dessen hintere oder obere Wand zum Auffangen dieses Bildes eine *matt geschliffene Glasscheibe* enthält. Soll das Bild auf der oberen Wand des Kastens entstehen, so bringt man in letzterem einen unter 45° geneigten Planspiegel an. Diese Einrichtung gestattet, das Bild bequem nachzuzeichnen.

Fig. 385.



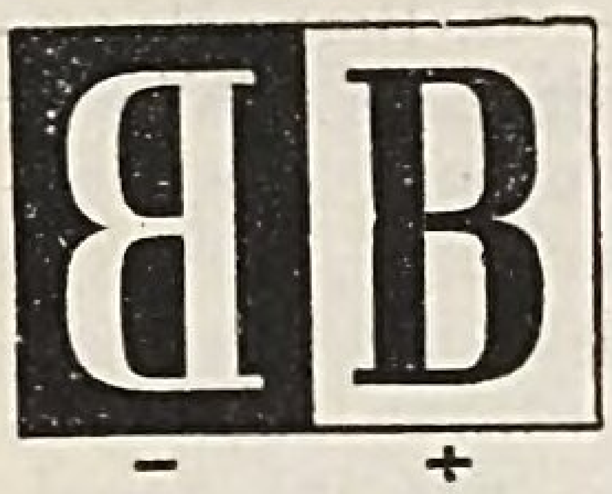
Die Camera obscura ohne Spiegel und mit einem Linsensystem als Objektiv findet hauptsächlich beim **Photographieren** eine nützliche Anwendung. Die mattgeschliffene Glasscheibe wird nach genauer Einstellung durch eine andere ersetzt, welche mit einer dünnen, durch Jod- und Bromsilber gegen Licht sehr empfindlich gemachten Kollodiumschicht oder mit Bromsilbergelatine überzogen ist. Das Bild wird erst dann sichtbar, nachdem die Platte im verdunkelten Zimmer mit einer dazu geeigneten Flüssigkeit (Eisenvitriol und Pyrogallussäure) übergossen worden ist. Hierbei scheidet sich nämlich an den vom Lichte getroffenen Stellen aus jenen Silbersalzen um so mehr metallisches Silber als äufserst feines schwarzes Pulver aus, je stärker das Licht eingewirkt hatte, sodafs diese Stellen mehr oder weniger dunkel erscheinen. Die Deutlichkeit des Bildes wird dadurch erhöht, dafs man die Platte durch Übergiefsen mit einer geeigneten Flüssigkeit (unterschwefligsaurem Natron) von dem im Lichte unverändert gebliebenen Silbersalzen reinigt. (Letztere sind in unterschwefligsaurem Natron löslich, während die Substanz der durch das Licht verdunkelten Stellen darin unlöslich ist.) — Auf diesem Bilde sind die Verhältnisse von Licht und Schatten vertauscht, die hellen Stellen des Gegenstandes sind dunkel und umgekehrt *(negatives Bild)*. — Um ein Bild zu erhalten, welches Licht und Schatten richtig darstellt, wird die Glastafel mit ihrer Bildseite auf ein Blatt Papier gelegt, das mit Chlorsilber für Licht empfindlich gemacht ist (photographisches Papier), und abermals dem Sonnenlichte ausgesetzt. Da die dunkelsten

Fig 386.



Stellen der Glasplatte am wenigsten, die hellsten am meisten Licht durchlassen, so kehren sich die Verhältnisse zwischen Licht und Schatten wieder um und das entstehende Bild stellt dieselben richtig dar (*positives Bild*, Fig. 387).

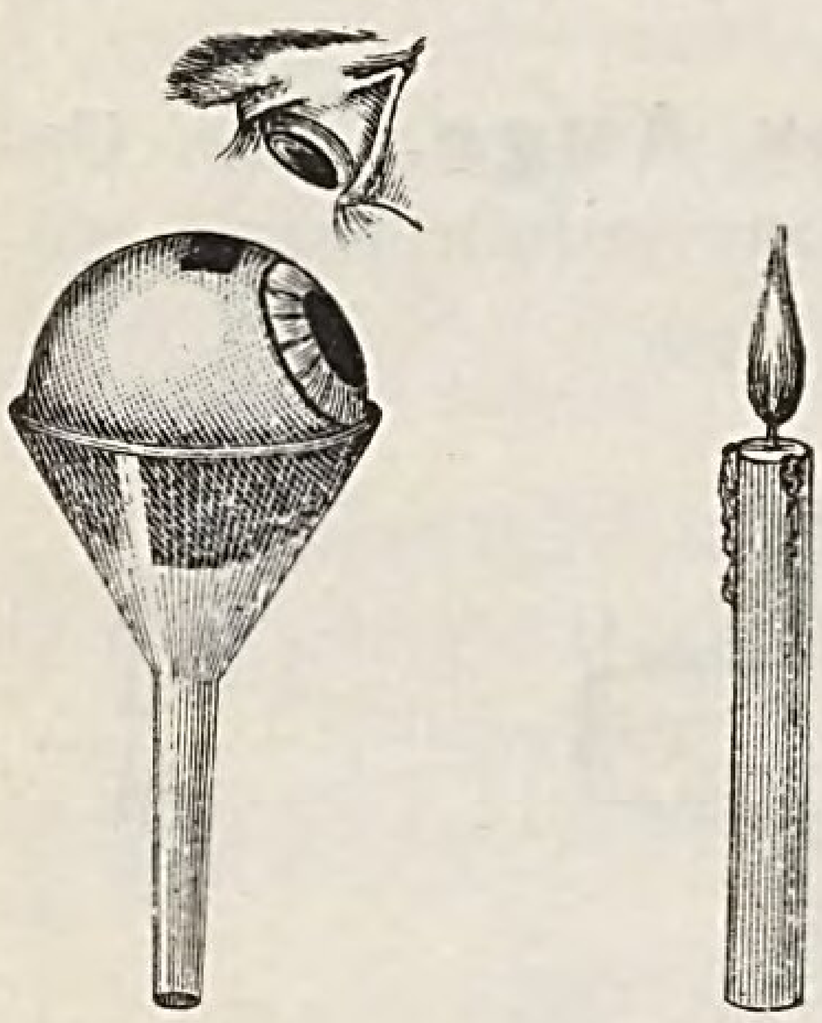
Fig. 387.



1838 erfand Daguerre in Frankreich die Kunst, auf versilberten Kupferplatten Lichtbilder zu erzeugen. Fast gleichzeitig (1839) wurde von dem Engländer Talbot das noch jetzt beim Photographieren angewandte (seitdem allerdings sehr vervollkommnete) Verfahren erfunden, Lichtbilder auf Papier herzustellen.

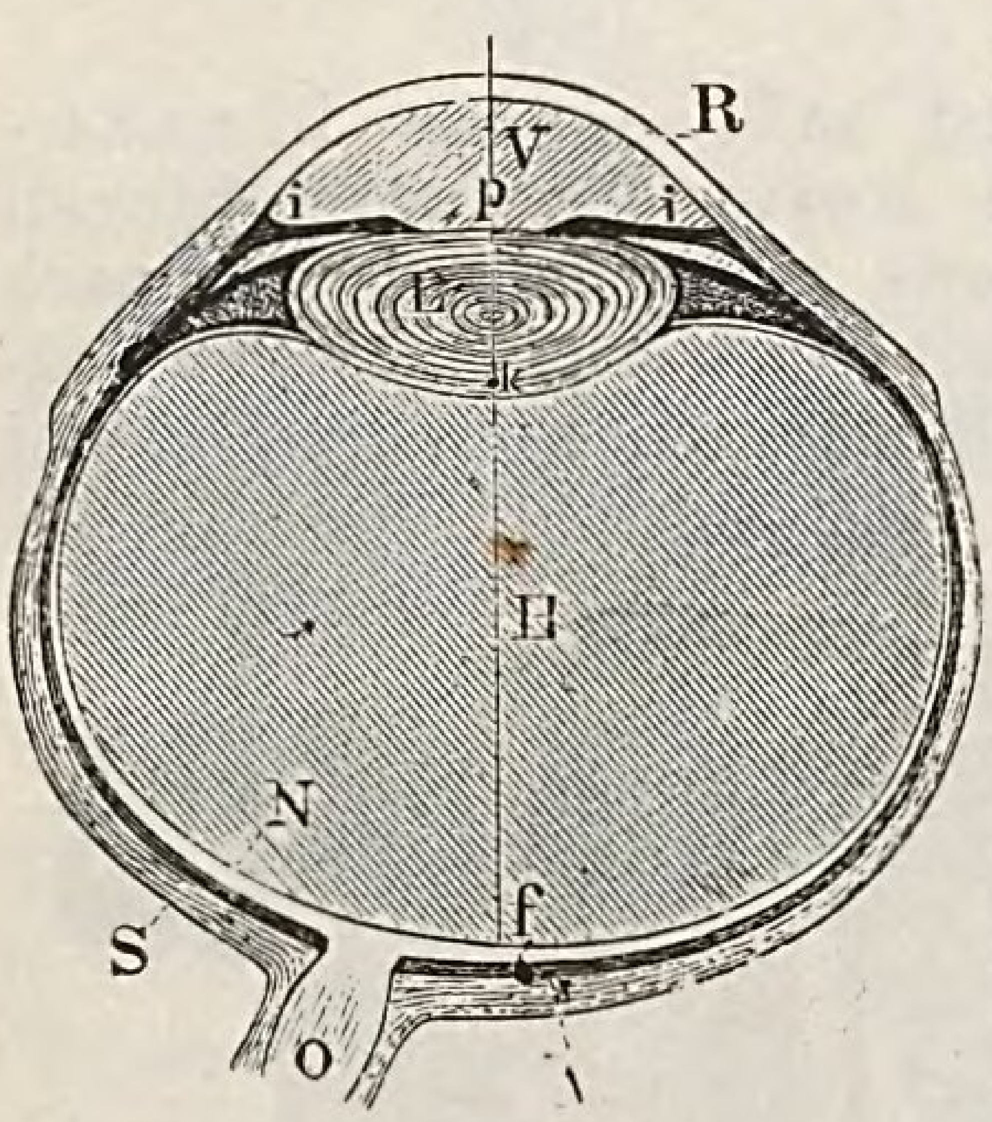
Der vollkommenste aller optischen Apparate ist das **Auge**, desen Einrichtung mit derjenigen der Camera obscura eine gewisse Ähnlichkeit hat. Wie bei dieser umschliefst das Auge einen dunklen Raum, auf dessen Rückwand von Gegenständen, die sich vor dem Auge befinden, durch Lichtbrechung in verschieden dichten Mitteln kleine, umgekehrte Bilder entstehen. (*Nachweis an dem seitlich geöffneten Auge eines Rindes, Fig. 388).

Fig. 388.



Der menschliche Augapfel wird von einer sehnigen harten Haut, deren hinterer, undurchsichtiger Teil Sehnenhaut (S) und deren vorderer, durchsichtiger Teil Hornhaut (R) genannt wird, umschlossen. Letztere ist stärker gewölbt. Da, wo die harte Haut in die Hornhaut übergeht, wird der Innenraum des Augapfels durch die Krystallinse (L) in zwei Teile geschieden, die als vordere und hintere Augenkammer bezeichnet werden (V und H). Die vordere Kammer ist mit einer wässrigen Flüssigkeit, die hintere mit einer gallertartigen Masse, dem sogen. Glaskörper, gefüllt. Dicht vor der Krystalllinse ist eine farbige Haut, die sogen. Regenbogenhaut (ii) als scheibenförmige Blende ausgespannt. Die Wand der hinteren Augenkammer ist nach innen mit zwei dünnen Häuten, Aderhaut (A) und Netzhaut (N), ausgekleidet.

Fig. 389.



Die **Regenbogenhaut** ist bei verschiedenen Personen verschieden gefärbt. Sie hat in der Mitte eine kreisrunde Öffnung, die Pupille (P), welche sich durch strahlen- und ringförmig angeordnete Muskeln der Regenbogenhaut erweitern oder verengen kann. Da die Pupille mitten vor der Krystalllinse liegt, so werden Strahlen, welche den Rand der Linse treffen würden, nicht durchgelassen.

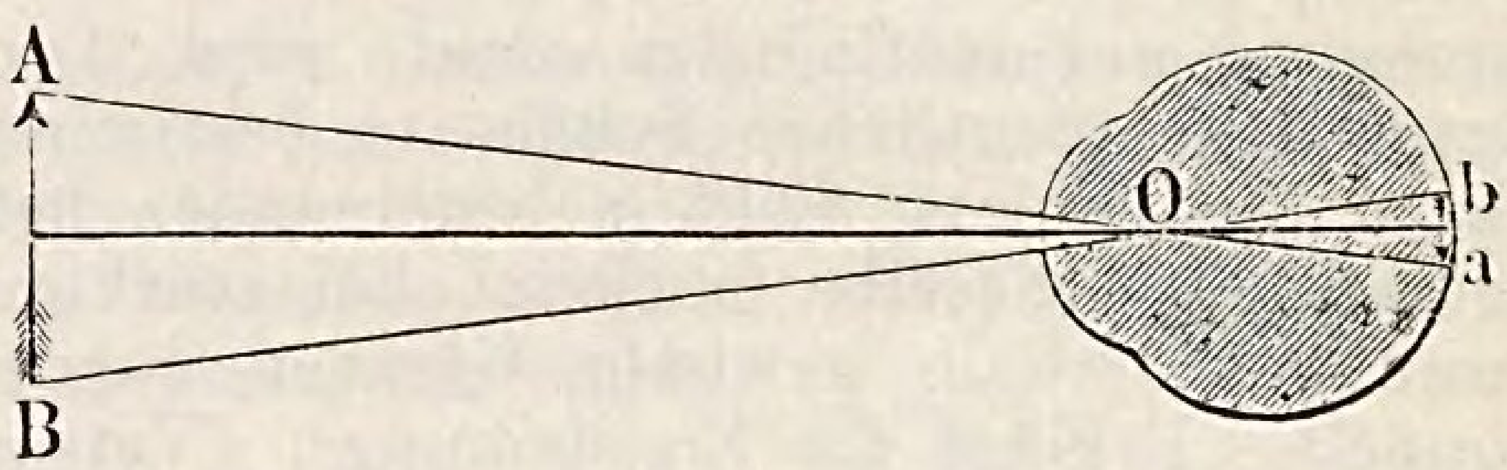
Die Brechung der Lichtstrahlen wird namentlich durch die farblose und äufserst durchsichtige **Krystalllinse** bewirkt. Diese ist ein linsenförmiger Körper, dessen hintere Fläche stärker gekrümmt ist als die vordere. Sie wird von einer klaren Haut (Linsenkapsel), welche nach dem Rande hin ringsum mit dem vorderen Teile der Aderhaut verwachsen ist, ganz umschlossen. Letztere bildet um die Krystalllinse herum eine strahlenförmig gefaltete, schwarze Einfassung (Strahlenkörper), durch welche die Linse in ihrer Lage gehalten wird. Die Regenbogenhaut ist eine Fortsetzung der Aderhaut.

Die **Aderhaut** breitet sich innerhalb der ganzen hinteren Augenkammer aus. Sie ist tiefschwarz gefärbt und enthält zahlreiche feine Blutgefäfse, die das Auge ernähren. Die schwarze Farbe derselben ist für die Deutlichkeit des Bildes wichtig, indem sie eine nachteilige Zurückwerfung des Lichtes im Innern des Auges verhindert.

Die **Netzhaut** ist das eigentliche Organ zur Aufnahme der Lichtreize. Sie wird durch eine Ausbreitung des Sehnerven, welcher an einer etwas seitlich gelegenen Stelle vom Gehirn her ins Auge eintritt, gebildet und hat einen sehr zusammengesetzten Bau (in der Figur nicht angedeutet). An der Eintrittsstelle des Sehnerven ist die Netzhaut für Licht empfindungslos (blinder Fleck), während an derjenigen Stelle, auf welcher das Bild eines Gegenstandes entsteht, wenn wir unser Auge auf denselben richten, Lichteindrücke am deutlichsten wahrgenommen werden. Diese Stelle (gelber Fleck) liegt da, wo eine durch den Scheitel der Hornhaut und die Mitte der Pupille gelegte Gerade (Augenachse) die Netzhaut trifft. Der Sehnerv übermittelt die auf die Netzhaut wirkenden Lichtreize dem Gehirn.

Da das Auge aus verschiedenen lichtbrechenden Körpern zusammengesetzt ist, so läfst sich der Gang der Lichtstrahlen nicht in so einfacher Weise darstellen, wie bei künstlichen optischen Apparaten. Wir wollen uns daher bei allen späteren Betrachtungen vorstellen, das Auge enthielte nur ein einziges lichtbrechendes Mittel (Fig. 390). Denkt man sich dann von den Endpunkten des Gegenstandes (AB) nach den entsprechenden Punkten des Bildes (ab) gerade Linien gezogen, so geben diese die Richtung der Strahlen an. Der Punkt (O), in welchem diese Linien sich schneiden, wird Kreuzungspunkt genannt; er bildet den optischen Mittelpunkt des Auges und liegt beim wirklichen Auge im Innern der Krystalllinse, nahe vor der hinteren Fläche derselben.

Fig. 390.



Übungsstoff. 1. Vgl. das Auge mit der Camera obscura. (Die gröfsere Vollkommenheit der Einrichtung ist hervorzuheben.) — 2. Welchen Einflufs hat die Weite der Blende im Ansatzrohre der Camera obscura auf die Lichtstärke und Schärfe des negativen Bildes, sowie auf die Schnelligkeit, mit welcher das Bild entsteht? — 3. Durch welche wichtige Eigenschaft unterscheidet sich die Blende des Auges von allen Blenden optischer Instrumente? — 4. Mit welcher von den in Fig. 362 dargestellten Linsen hat der vordere Teil des Auges, welcher aufsen von der Hornhaut, innen von der Linse begrenzt wird, Ähnlichkeit? — 5. Bei den im W. lebenden höheren Tieren ist die Krystalllinse des Auges viel stärker gekrümmt als bei den Landtieren (bei Fischen nahezu kugelig); w.? — 6. Betrachtet man von 2 etwa um Fingerlänge voneinander entfernten Punkten den rechten Punkt mit



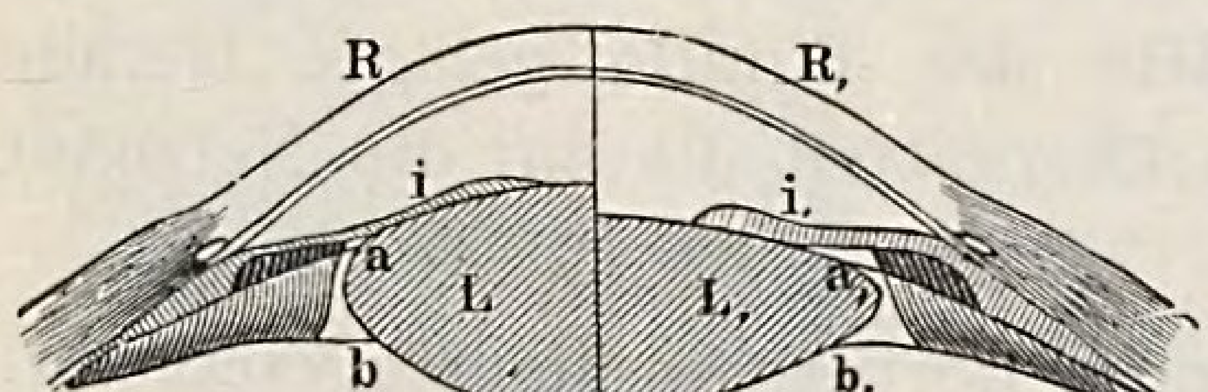
dem linken oder den linken mit dem rechten Auge, während man das andere Auge geschlossen hält, so sind bei Annäherung der Fläche zunächst beide Punkte sichtbar. Entfernt man darauf die Fläche weiter vom Auge, so verschwindet der Punkt, auf den das Auge nicht gerichtet war, zunächst vollständig; er wird aber bei zunehmender Entfernung wieder sichtbar. Wie erklärt sich diese Ersch.? — 7. Ständen rechts oder links 2 Punkte etwa 2 cm voneinander, so würde bei gleichem Verfahren zuerst der innere und darauf auch der äufsere Punkt verschwinden u. s. w. Erkl.!

§ 106. Das Sehen. Frühere Versuche haben ergeben, dafs die Bilder, welche durch eine Sammellinse entstehen, nur in bestimmten

Abständen von Linse und Schirm deutlich erscheinen, sowie dafs diese Abstände bei einer bestimmten Linsenkrümmung von der Entfernung der Gegenstände abhängig sind (§ 102). Wären demnach Lage und Krümmung der lichtbrechenden Teile des Auges unveränderlich, so könnte ein deutliches Bild auf der Netzhaut nur von solchen Gegenständen entstehen, welche in einer ganz bestimmten Entfernung vom Auge sich befinden; nähere oder weiter entfernte Gegenstände müfsten undeutlich erscheinen. Obgleich man nun nur in einer bestimmten Entfernung ohne Anstrengung am deutlichsten zu sehen vermag, so kann sich das Auge doch sehr verschiedenen Entfernungen anpassen. **(Akkommodationsvermögen.)**

Die Akkommodation wird hauptsächlich durch eine Gestaltveränderung der Krystalllinse bewirkt. Beim Nahesehen ist besonders die vordere Fläche der Krystalllinse stärker gewölbt, beim Sehen in die Ferne ist sie mehr abgeflacht (Fig. 391). Dabei findet im ersteren Falle zugleich eine Verengung, im letzteren eine Erweiterung der Pupille statt.

Fig. 391.



Nahe. Fern.

Das Akkommodationsvermögen ist jedoch nicht unbegrenzt. Die beiden äufsersten Entferungen, für welche eine Anpassung des Auges möglich ist, heifsen Nähepunkt und Fernpunkt; die Entfernung, in welcher ein Auge ohne Anstrengung am deutlichsten sieht, wird deutliche Sehweite genannt. Um die Grenzen des deutlichen Sehens zu bestimmen, braucht man nur durch 2 feine, in einem Kartenblatt dicht nebeneinander befindliche Öffnungen eine Nadelspitze zu betrachten. Dieselbe erscheint bei starker Annäherung doppelt, bei weiterer Entfernung innerhalb gewisser Grenzen nur einfach, in gröfserer Entfernung wieder doppelt. Erkläre die Erscheinung! (Versuch von Scheiner, 1619.)

Bei **normalsichtigen Augen** ist **1.** der Abstand des Nähepunktes 10 bis 12 cm (in geringerer Entfernung strengt das Sehen sehr an); **2.** die deutliche Sehweite ungefähr 24 cm; **3.** der Abstand des Fernpunktes sehr grofs.

Bei **kurzsichtigen Augen** ist die deutliche Sehweite kleiner als bei normalsichtigen; der Fernpunkt liegt dem Auge zu nahe. Dies wird durch eine zu starke Krümmung der Krystalllinse oder (nach neueren Untersuchungen) dadurch hervorgerufen, dafs die Augenachse von vorn nach hinten zu lang ist. Das Bild von einem

Fig. 392.

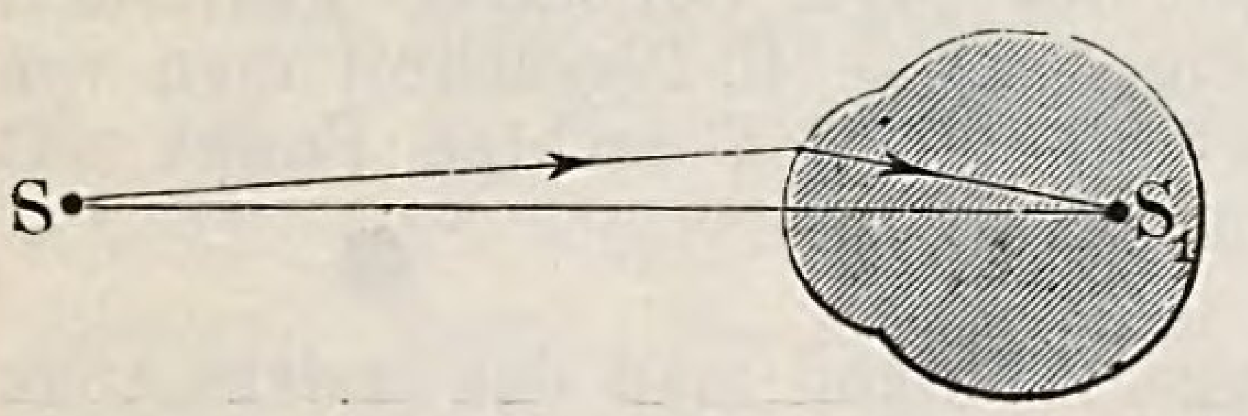
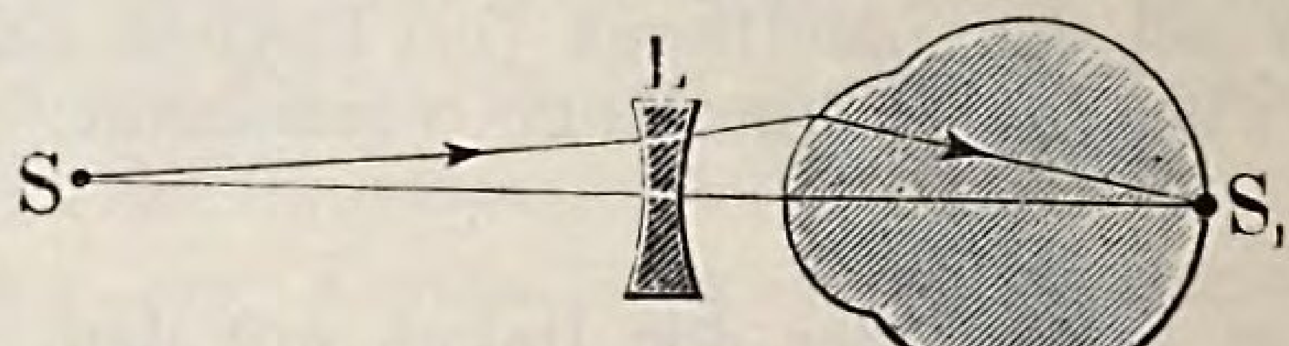


Fig. 393



in der normalen Sehweite befindlichen Gegenstande entsteht dann schon vor der Netzhaut (Fig. 392). Kurzsichtige müssen daher die Gegenstände, um sie deutlich zu erkennen, den Augen mehr nähern (vergl. Fig. 371: Verschiebung von A_2B_2 nach AB; ab entspricht dem Netzhautbilde), oder sie müssen Konkavlinsen als Brillen tragen (Fig. 393).

Da durch Konkavlinsen die Strahlen zerstreut werden, so gelangen in die mit einer Brille versehenen kurzsichtigen Augen um so weniger Lichtstrahlen, je schärfer die Brille ist und je weiter sie von den Augen absteht. Hierdurch wird die Licht-

stärke des Netzhautbildes vermindert. Kurzsichtige müssen daher die Brille den Augen möglichst nähern.

Bei **weitsichtigen (übersichtigen) Augen** ist die deutliche Sehweite gröfser als bei normalen; der Nähepunkt liegt zu weit vom Auge weg. Dies hat seinen Grund in einer zu starken Abflachung der Krystalllinse oder in einer Verkürzung der Augenachse. Die Strahlen, welche von einem in der normalen Sehweite befindlichen

Fig. 394.

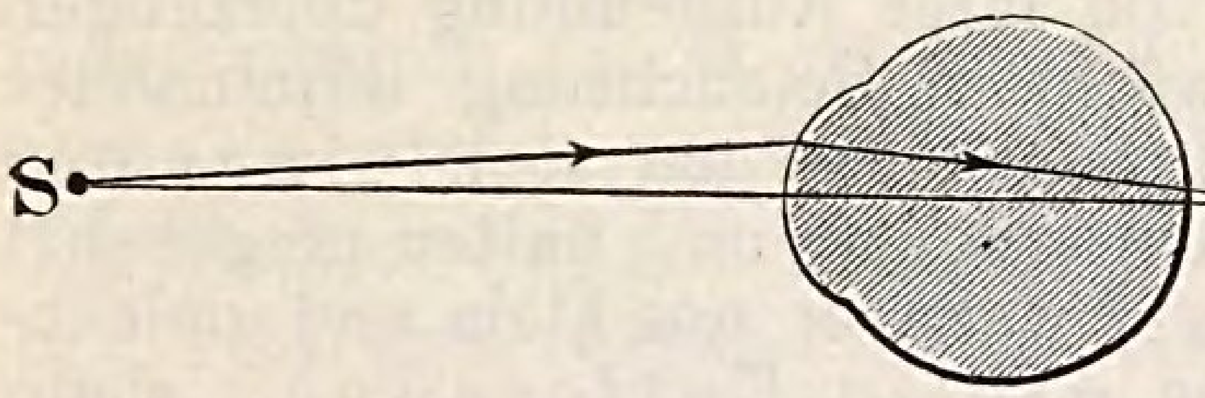
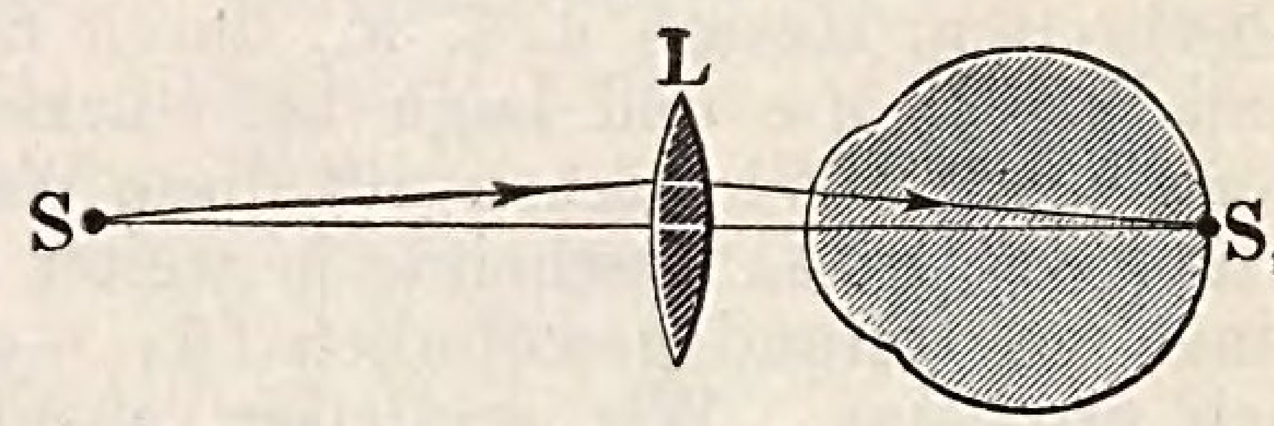


Fig. 395.



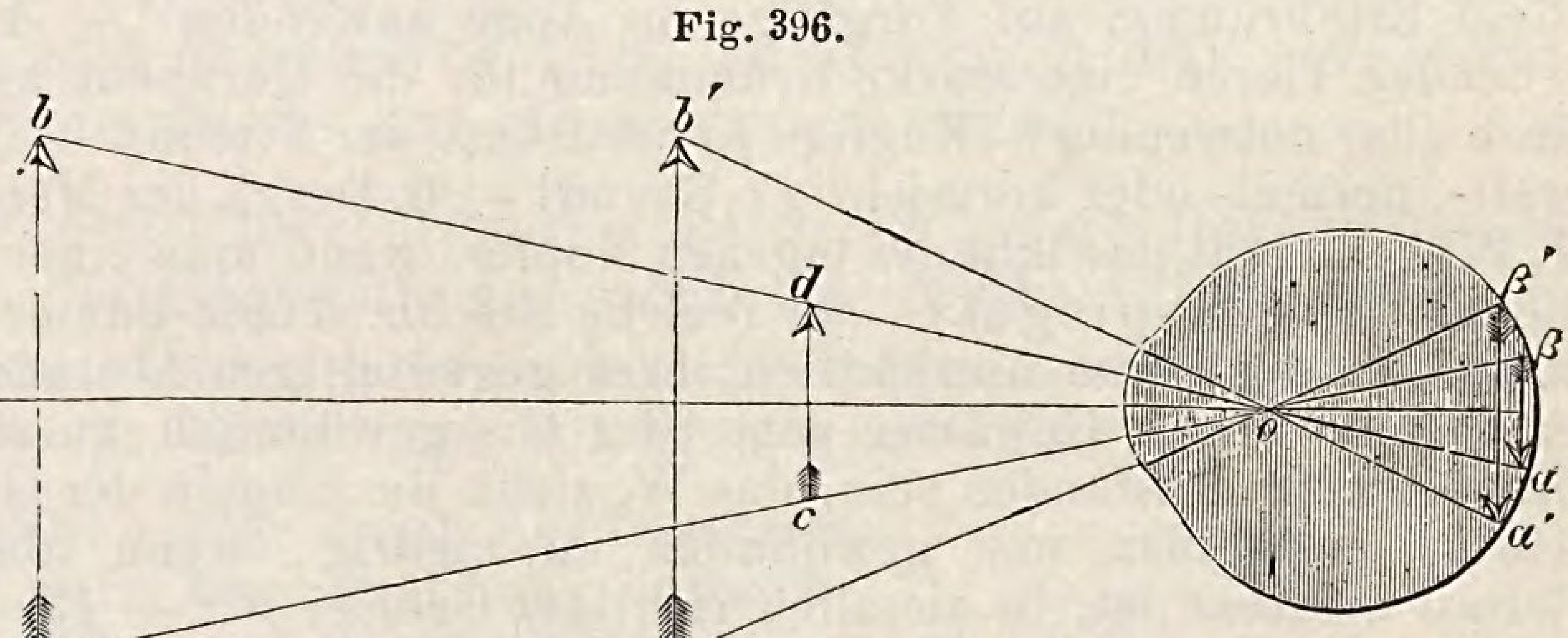
Gegenstande ausgehen, treffen mithin die Netzhaut schon vor ihrer Vereinigung zu einem Bilde (Fig. 394). Damit das Bild auf die Netzhaut fällt, müssen Weitsichtige die Gegenstände in gröfserer Entfernung betrachten (vgl. Fig. 371: Verschiebung von A_1B_1 nach AB) oder Konvexlinsen als Brillengläser tragen (Fig. 395).

Da Konvexlinsen die Strahlen sammeln, so wird das Netzhautbild um so lichtstärker, je weiter die Brille von den Augen absteht. Weitsichtige sehen daher besser, wenn die Brille von den Augen möglichst entfernt ist.

Die Kurzsichtigkeit wird von jüngeren Leuten häufig durch andauernde Akkommodation der Augen für die Nähe (beim Lesen, Zeichnen u. s. w.) erworben, während Weitsichtigkeit mit zunehmendem Alter infolge einer Erschlaffung der Muskeln, welche die Akkommodation bewirken, eintritt. — Die Brillen[1]) wurden gegen Ende des 13. Jahrhunderts in Italien erfunden.

Sehwinkel. Die tägliche Erfahrung lehrt, dafs nicht nur die Deutlichkeit, sondern auch die Gröfse, in der uns ein Gegenstand erscheint, sich mit der Entfernung ändert (Beispiele!). Da nun das Sehen auf dem Zustandekommen von Bildern auf der Netzhaut beruht, so mufs jene Erscheinung durch eine Veränderung in der Gröfse dieser Netzhautbilder hervorgerufen werden. Fig. 396 zeigt, dafs nicht nur Gegenstände von gleicher Gröfse ungleichgrofse Bilder auf der Netzhaut erzeugen können, sondern dafs auch das Umgekehrte eintreten kann. Die Gegenstände erscheinen uns hiernach gleichgrofs, wenn die von ihren Endpunkten durch den optischen Mittelpunkt des Auges gehenden Strahlen denselben Winkel **(Sehwinkel)** einschliefsen; sie erscheinen in anderer Gröfse, wenn dieser Winkel sich ändert.

Fig. 396.



Die scheinbare Gröfse eines Gegenstandes ist durch den Sehwinkel bestimmt.

[1]) beryllus = Beryll, ein Edelstein.

Durch verschiedene optische Instrumente wird bewirkt, dafs Gegenstände, deren Sehwinkel für die deutliche Beobachtung zu klein sind, in der deutlichen Sehweite unter gröfseren Sehwinkeln erscheinen. Ist ein Gegenstand mäfsig erleuchtet, so kann man ihn noch wahrnehmen, wenn der Sehwinkel kaum den hundertsten Teil eines Grades beträgt. Hell leuchtende Sterne sind noch unter viel kleineren Sehwinkeln zu erkennen.

Zur Beurteilung der **wirklichen Gröfse** und **Entfernung der Gegenstände** sind gewisse Erfahrungen nötig. Diese sammeln wir schon von frühester Jugend an, indem wir nach den Gegenständen hingehen, ihre Abstände abschreiten, messen u. s. w., durch Betasten uns von ihrer Ausdehnung überzeugen und ihre Gröfse und Lage bei stärkerer und schwächerer Beleuchtung miteinander vergleichen. Wir lernen auf diese Weise, dafs ein Gegenstand um so kleiner und undeutlicher erscheint, je weiter er von uns entfernt ist, und halten umgekehrt einen Gegenstand gewöhnlich für weit entfernt, wenn er uns klein und undeutlich erscheint. Wir schliefsen ebenfalls auf eine grofse Entfernung, wenn zwischen uns und dem betrachteten Gegenstande zahlreiche andere Gegenstände sich befinden, da wir im allgemeinen auf grofsen Strecken mehr Dinge wahrnehmen als auf kleinen.

Bei dieser Beurteilung der Gröfse und Entfernung der Gegenstände sind wir jedoch allerlei Täuschungen ausgesetzt. So halten wir z. B. Berge bei nebligem Wetter leicht für weiter entfernt und für höher als sie wirklich sind; sind dieselben im Winter mit Schnee bedeckt und ist die Luft klar, so halten wir sie für zu niedrig und zu nahe (Täuschungen im Hochgebirge). Sonne und Mond erscheinen uns viel gröfser, wenn sie aufgehen, als wenn sie hoch am Himmel stehen, obgleich der Sehwinkel in beiden Fällen derselbe ist; im ersteren Falle trifft unser Blick zahlreiche, ihrer Entfernung nach bekannte Gegenstände, wodurch wir verleitet werden, die Himmelskörper uns entfernter und gröfser vorzustellen, als wenn sie höher am Himmel stehen.

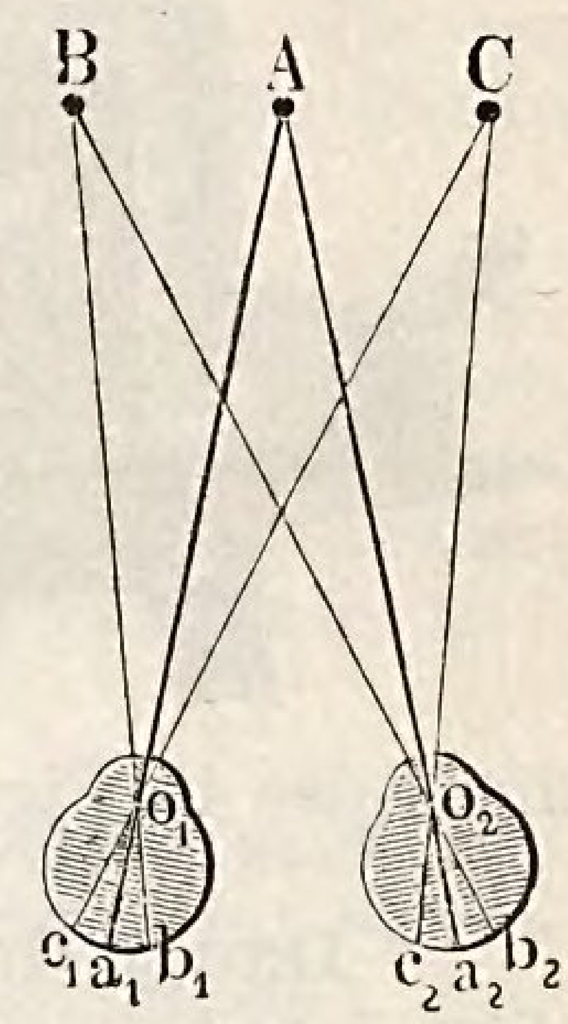
Übungsstoff. 1. Wie läfst sich bei einer Camera obscura bewirken, dafs das Bild unter Beibehaltung desselben Objektivs und bei derselben Stellung der Rückwand wieder deutlich erscheint, wenn der Gegenstand sich nähert oder entfernt. Erkläre die Undeutlichkeit! — 2. Wie erzielt man dieselbe Lichtstärke des Bildes bei sehr ungleichen Entfernungen des Gegenstandes? — 3. Wie lassen sich diese Erfahrungen auf Vorgänge im Auge anwenden? — 4. Warum ist bei im W. lebenden Tieren eine starke Krümmung für die Hornhaut zwecklos, für die Krystalllinse aber notwendig? (Kuglige Krystalllinse der Fische.) — 5. Sind Fische in der Luft weit-, normal- oder kurzsichtig? Grund! — 6. Desgl. der Mensch unter W.? Grund! — 7. Wie entsteht das Bild des eigenen Kopfes, wenn man einer anderen Person ins Auge sieht? (Augenspiegel.) — 8. Welche Erschn. zeigen Baumreihen, Eisenbahnschienen u. dgl. in der Ferne hinsichtlich ihres gegenseitigen Abstandes? Erkl.! — 9. Warum erscheinen grofse Gewässer vom Ufer aus gewöhnlich zu schmal? — 10. Wie mag die Meinung entstanden sein, das W. ziehe die Kugeln der Geschütze an? — 11. Hohe Türme erscheinen uns gewöhnlich zu niedrig, wenn aber zugleich ein Mensch darauf sichtbar ist, in ziemlich richtiger Gröfse; w.? — 12. Wie läfst sich bei Gegenständen von bekannter Länge oder Höhe (Pferd eines Kavalleristen) durch Visieren über die Endpunkte eines in gleicher Richtung gehaltenen kurzen Stabes annähernd die Entfernung beurteilen?

§ 107. Das Sehen. (Fortsetzung). Dafs wir die Gegenstände **aufrecht sehen,** obgleich die Netzhautbilder umgekehrt sind, erklärt sich in folgender Weise. Da wir von frühester Jugend an durch unseren Tastsinn darüber belehrt werden, wissen wir, dafs wir zur Betrachtung der einzelnen Teile eines Gegenstandes unser Auge dahin richten müssen, wo dieselben sich wirklich befinden, also nach oben, wenn der Punkt hoch, nach unten, wenn er tief liegt u. s. w. Wir verlegen demnach die Ursachen der Lichteindrücke in der Richtung nach aufsen, in welcher die Strahlen

ins Auge fallen und sehen gerade deshalb die Gegenstände aufrecht, weil die Netzhautbilder umgekehrt sind.

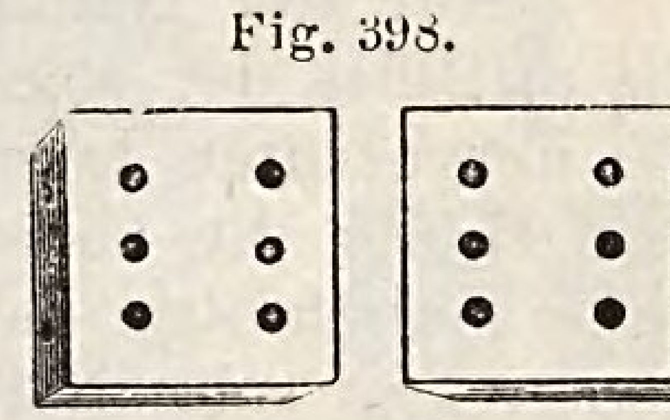
Das Einfachsehen. Wenn wir einen Gegenstand (A, Fig. 397) betrachten, so richten wir beide Augen so, dafs ihre *Achsen* (a_1o_1 und a_2o_2) in ihrer Verlängerung den betrachteten Gegenstand treffen. Dadurch entstehen beide Netzhautbilder auf entsprechenden Stellen der Netzhaut (in a_1 und a_2). Dasselbe gilt von den Bildern derjenigen nicht betrachteten Gegenstände (z. B. B oder C), welche in derselben Entfernung etwas weiter nach links oder rechts liegen; von der linken Seite entstehen beide Bilder rechts (in b_1 und b_2), von der rechten links von der Achse (in c_1 und c_2). Wir sehen in solchen Fällen die Gegenstände *einfach.* Liegen dagegen die betrachteten Gegenstände hintereinander, etwa in A und dem Schnittpunkte der beiden Linien Bb_2 und Cc_1, so würden die Bilder des näheren Gegenstandes, wenn man die Augen wie vorhin nach A richtete, in c_1 und b_2, also auf 2 einander nicht entsprechenden Stellen der Netzhaut entstehen. Wir sehen dann den Gegenstand *doppelt.* (Bestätigung durch einen Versuch mit 2 Stäbchen).

Fig. 397.



Das Körperlichsehen. Die beiden Netzhautbilder, welche uns einen Gegenstand einfach erscheinen lassen, können nicht genau übereinstimmen, da die Augen wegen ihres gegenseitigen Abstandes eine verschiedene Lage zu dem betrachteten Gegenstande einnehmen. So sind z. B. von einem nahe vor dem Auge befindlichen schmalen Gegenstande (Würfel, Fig. 398, Buch bei Betrachtung des Rückens) zwar beide Seiten zugleich sichtbar, schliefst man aber abwechselnd das eine und das andere Auge, so überzeugt man sich leicht, dafs jedes nur eine Seitenfläche des Gegenstandes sieht.

Fig. 398.

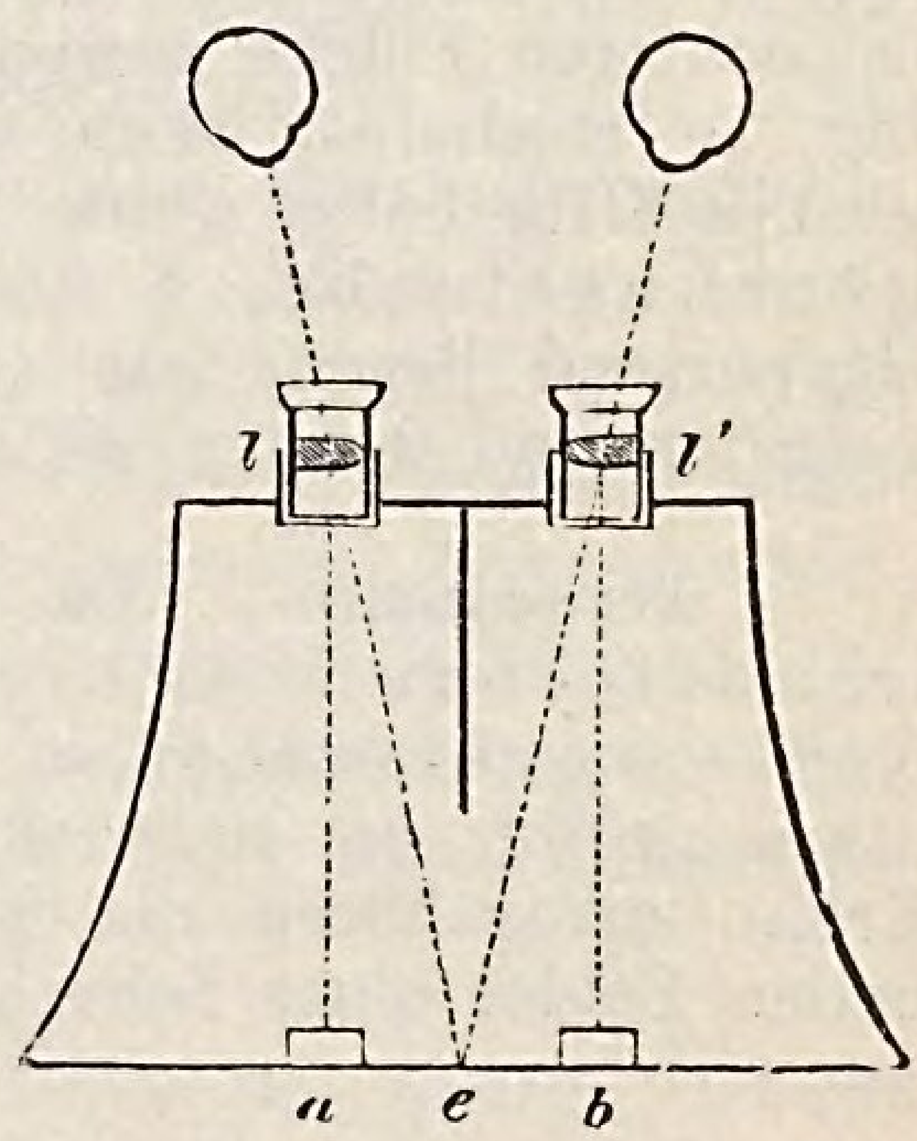


In der Verschiedenheit der Netzhautbilder liegt demnach der Grund, dafs uns die Gegenstände nicht als flache Bilder, sondern als Körper erscheinen. Unser Urteil über die Körperlichkeit wird noch durch die Verteilung von Licht und Schatten unterstützt.

Blindgeborene, welche später durch eine Operation sehend werden, sind erst nach längerer Übung imstande, die Körperlichkeit und Entfernung von Gegenständen zu beurteilen. Sehr weit entfernte Gegenstände sehen wir flächenartig (Mondscheibe).

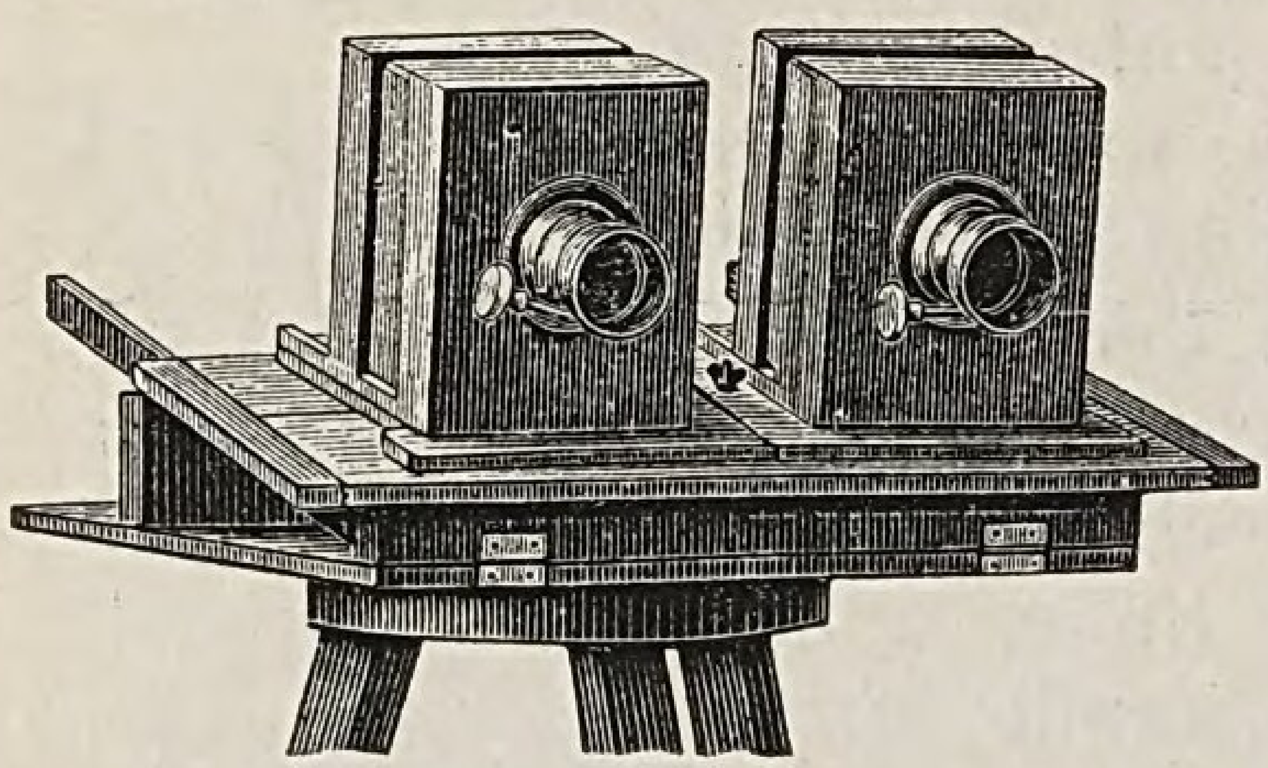
Dafs das Körperlichsehen auf der Vereinigung verschiedener Netzhautbilder beruht, läfst sich durch das **Stereoskop** (Fig. 399) nachweisen. Dasselbe besteht aus einem Kasten, in dessen Deckel zwei kurze Röhren so befestigt sind, dafs sie um den gegenseitigen Abstand der beiden Augen auseinander liegen. Jede dieser Röhren enthält ein Glasprisma mit kleinem brechenden Winkel. Die brechenden Kanten dieser keilförmigen Gläser sind gegeneinander gerichtet.

Fig. 399.



Wird auf den Boden des Kastens ein den beiden Netzhautbildern entsprechendes Doppelbild gelegt, dessen beide Hälften einen und denselben Gegenstand so darstellen, wie ihn die Augen einzeln erblicken würden, so sieht man nicht zwei Bilder, sondern einen Körper. Die Art, wie diese Wirkung zustande kommt, zeigt Fig. 399. Die Strahlen, welche von zwei entsprechenden Punkten (a und b) der beiden Punkte ausgehen, werden beim Durchgange durch die beiden Gläser nach aufsen hin so gebrochen, dafs ihre nach rückwärts gerichteten Verlängerungen sich in einem Punkte schneiden. Die Bilder erscheinen auf diese Weise durch Brechung der Strahlen so gegeneinander verschoben, dafs sie zusammenfallen. Dadurch entsteht der Eindruck, als ob der dargestellte Körper selbst an ihre Stelle getreten wäre.

Fig. 400.



Zur Herstellung stereoskopischer Bilder dient der in Fig. 400 dargestellte photographische Apparat mit einer Doppelcamera.

Dauer der Lichteindrücke. Gewisse Erscheinungen beweisen, dafs die Lichteindrücke, besonders wenn das Licht stark ist, noch eine Zeitlang **nachempfunden** werden. Man erblickt z. B. feurige Linien, wenn eine glühende Kohle schnell bewegt wird; der Blitz erscheint als Zickzacklinie, obwohl er nur ein blendender Funke ist. Die Farben eines schnell gedrehten Kreisels scheinen in einander überzugehen u. s. w.

Auf der Nachempfindung beruhen auch die optischen Täuschungen, welche sich mittelst der sogen. Wundertrommeln (Stroboskope[1]) und ähnlicher Apparate hervorrufen lassen. Stellen die durch die Ausschnitte der Trommel betrachteten Bilder die verschiedenen Stellungen eines sich bewegenden Körpers in natürlicher Reihenfolge dar, so scheint dieser die Bewegungen wirklich auszuführen, und zwar um so schneller, je schneller man dreht. Das Stroboskop läfst sich demnach zweckmäfsig zur Veranschaulichung eines schnell sich abspielenden Bewegungsvorganges verwenden, z. B. der Wellenbewegung (Quinckes Wellenbilder).

Nachbilder. Wenn man das Auge nach einem starken Lichtreize (Blick in die Sonne) schliefst oder auf einen dunklen Hintergrund richtet, so dauert der Reizungszustand noch eine Zeitlang an, hierbei geht der zurückbleibende helle Schein durch verschiedene Farben hindurch: *positive Nachbilder*. — Dauert ein starker Lichteindruck lange an, so ermüdet die Netzhaut an der vom Lichte gereizten Stelle. Dies giebt sich dadurch zu erkennen, dafs anstatt des betrachteten, hell erleuchteten Gegenstandes ein dunkler Fleck vor dem Auge erscheint, wenn man es von dem Gegenstande ab- und einer mäfsig erleuchteten Fläche zuwendet: *negatives Nachbild*. War der Gegenstand farbig, so erscheint, wenn man das Auge von der betrachteten Farbe weg auf eine gleichmäfsig helle, weifse Fläche wendet, das Nachbild in einer anderen Farbe (Ergänzungsfarbe, § 108), z. B. grün, wenn man längere Zeit einen roten Gegenstand betrachtete (rote Papierstreifen oder rote Blumen auf weifses Papier gehalten und dann plötzlich entfernt).

Irradiation. Da der Reizzustand der Netzhaut sich von der unmittelbar vom Lichte getroffenen Stelle auf die angrenzenden Teile verbreitet, so erscheinen sehr helle Gegenstände auf dunklem Grunde etwas gröfser als sie wirklich sind. Die Mondsichel z. B. scheint einem gröfseren Kreise anzugehören, als der übrige nur matt erleuchtete Teil der Mondscheibe; die hellen Felder eines Schachbrettes erscheinen gröfser als die dunklen.

[1]) στροβεῖν (strobein), im Kreise drehen.

Auf ähnlichen Einwirkungen beruhen die **Kontraste**, d. h. die Veränderungen, welche nebeneinander befindliche Beleuchtungen oder Farben aufeinander ausüben. Eine helle Fläche z. B. erscheint vor einem helleren Hintergrunde dunkler als vor einem dunkleren; Grau sieht auf Weifs dunkler aus als auf Schwarz, auf blauem Grunde gelblich, auf hellgrünem rötlich. Auf Schnee erscheinen die Schatten im gelblichen Lichte der Abendsonne bläulich, bei lebhaftem Abendrot die benachbarten Teile des blauen Himmels grünlich u. s. w. Ein sehr bemerkenswertes Beispiel von Kontrastwirkung sind die **Sonnenflecke**, die nur durch den Kontrast zu der aufserordentlichen Helligkeit der Sonnenscheibe dunkel erscheinen.

Manchen Augen fehlt teilweise oder vollständig die Fähigkeit, Farben zu unterscheiden **(Farbenblindheit)**. Denjenigen Personen, welche gar keine Farben empfinden, erscheinen alle Farben grau, die gelbe und grüne Farbe am hellsten (totale Farbenblindheit). Fehlt nur für gewisse Farben die Empfindung, so bezeichnet man den Zustand als Rotblindheit, Blaublindheit u. s. w.

Übungsstoff. 1. Warum ist es schwierig, eine Nähnadel einzufädeln, wenn man das eine Auge schliefst? — 2. Welche Anwendungen findet das Stereoskop? — 3. Welche optische Täuschung ruft eine tönende Saite, Stimmgabel u. s. w. hervor? — 4. Von 2 Kreiseln sei der eine längs, der andere quer farbig gestreift. Welcher Unterschied giebt sich zu erkennen, wenn beide schnell umlaufen? Erkl! — 5. In welcher Weise läfst sich durch ein Kartenblatt eine optische Täuschung hervorrufen, wenn auf der einen Seite eine senkrechte, auf der anderen eine wagerechte Linie (Fig. 401), oder auf der einen ein Käfig und auf der anderen ein Vogel gezeichnet ist? — 6. Wenn man ein Blatt Papier, auf welches mehrere nahe aneinander gelegene, kräftig ausgezogene Kreise gezeichnet sind, mit einiger Geschw. kreisförmig verschiebt, so scheinen die Kreise sich zu drehen. Worauf ist diese Ersch. zurückzuführen? — 7. Aus einem dunklen Blatte Papier seien schmale Streifen (etwa in Kreuzform, Fig. 402) ausgeschnitten; diese, sowie das Blatt selbst seien auf eine hell beleuchtete Fensterscheibe geklebt. Scheinbares Gröfsenverhältnis? — 8. Inwiefern kann die Farbe der Bekleidung (z. B. schwarze und weifse Handschuhe) eine Täuschung über die Gröfse der bekleideten Körperteile hervorrufen?

Fig. 401.

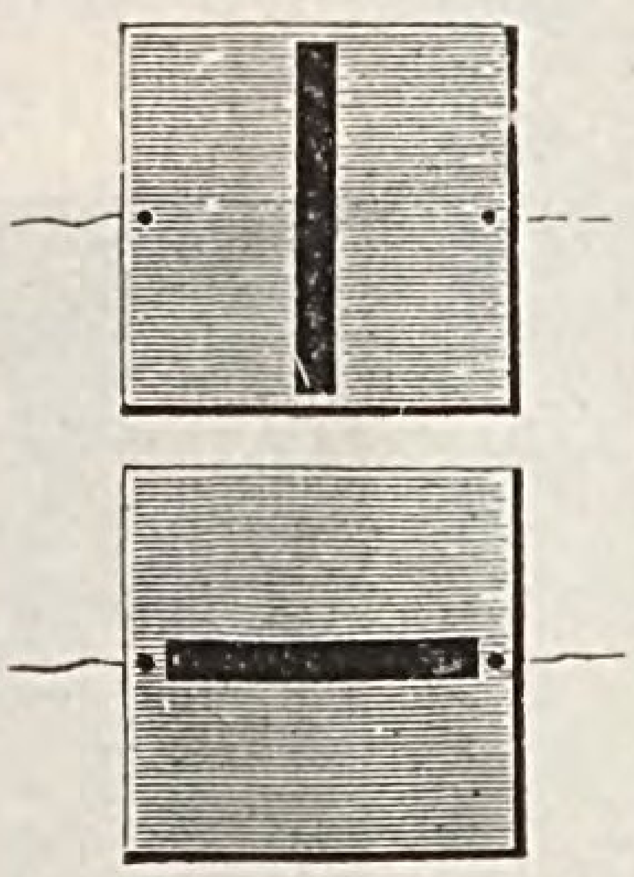
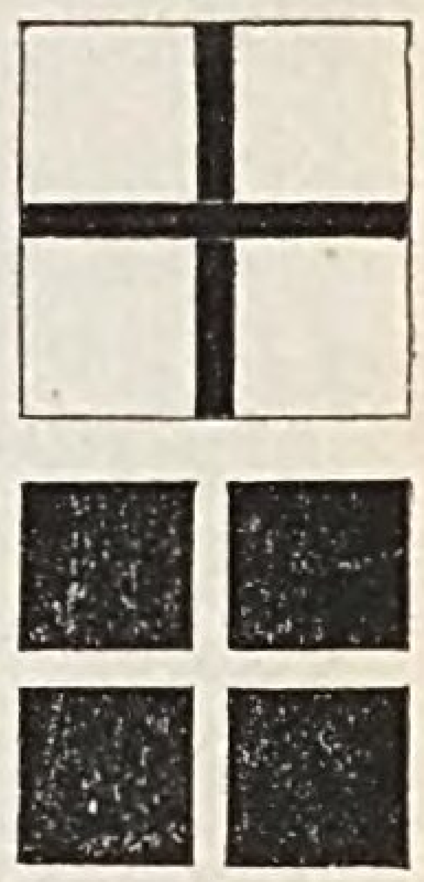


Fig. 402.



D. Farbenzerstreuung des Lichtes.

§ 108. Zerlegung des Lichtes. Ergänzungsfarben. Helle Gegenstände zeigen bei der Betrachtung durch Prismen und stark gekrümmte Linsen einen farbigen Saum; das Sonnenlicht bricht sich farbig in den Tautropfen oder im Wasserstrahl eines Springbrunnens, das Licht heller Flammen in den Glasprismen, mit welchen die Kronleuchter verziert werden. Diese Erscheinungen deuten darauf hin, dafs Sonnenlicht sowohl als künstliches Licht verschiedenfarbige Strahlen enthält, welche zusammen einen bestimmten Lichteindruck hervorrufen, ähnlich wie in einem musikalischen Klang Töne von verschiedener Höhe und Beschaffenheit enthalten sind, durch deren Zusammenklingen der eigentümliche Charakter des Tones, den man durch das ausdrucksvolle Wort Klangfarbe bezeichnet, bestimmt wird.

***Versuch a.** Betrachtet man eine Spiritusflamme, deren Docht mit Kochsalzlösung getränkt ist, im verdunkelten Zimmer durch ein

Prisma mit grofsem brechenden Winkel, so erscheint die Flamme stark verschoben und einfarbig g e l b (Fig. 403). — Benetzt man den Docht mit einer Lösung von kohlensaurem Lithium oder Chlorlithium, so erblickt man neben der g e l b e n noch eine r o t e Flamme u. s. w. (Fig. 404.)

Fig. 403.

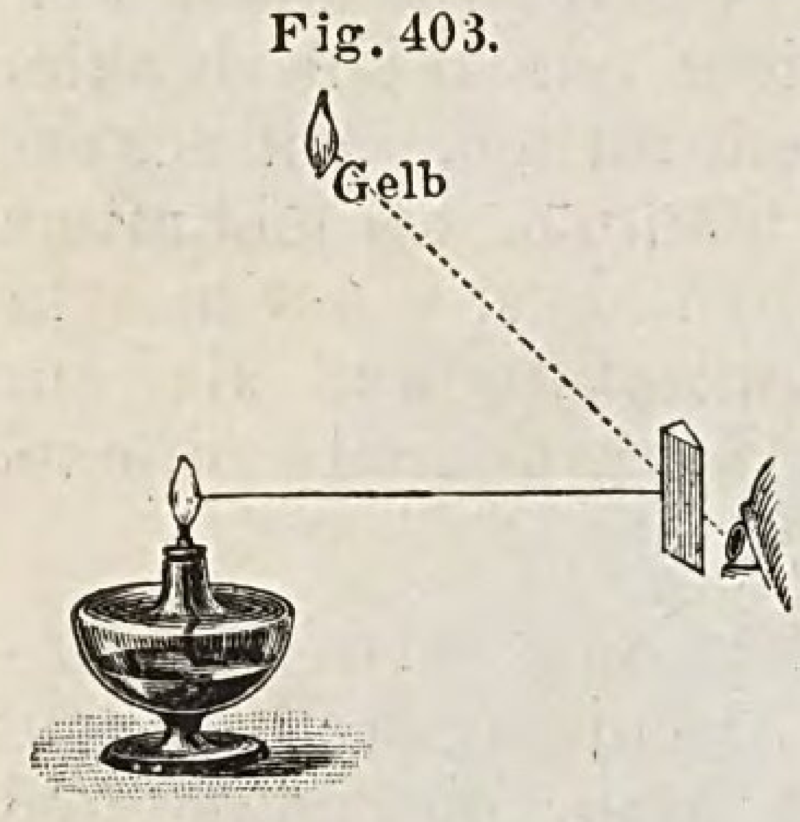
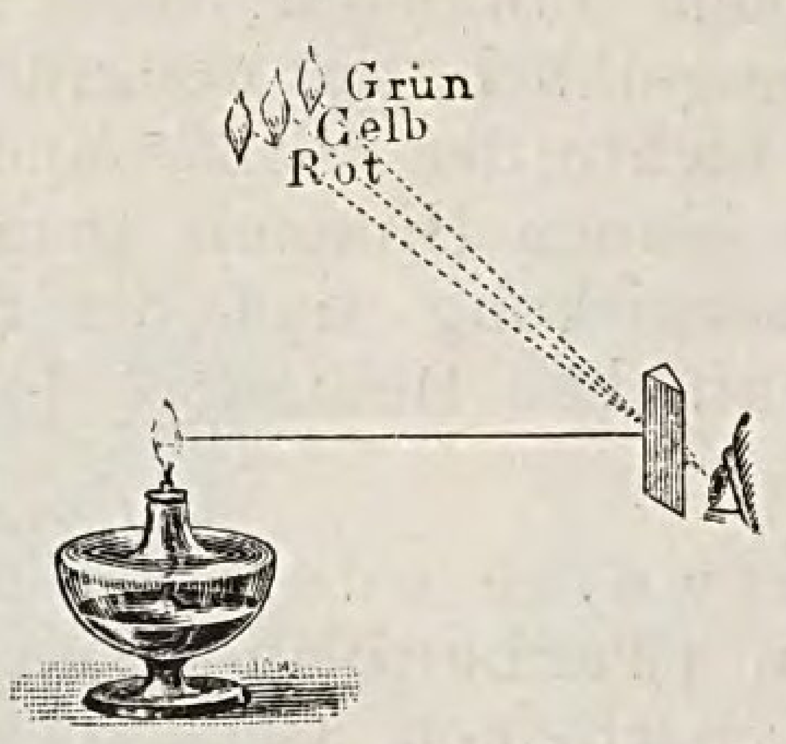
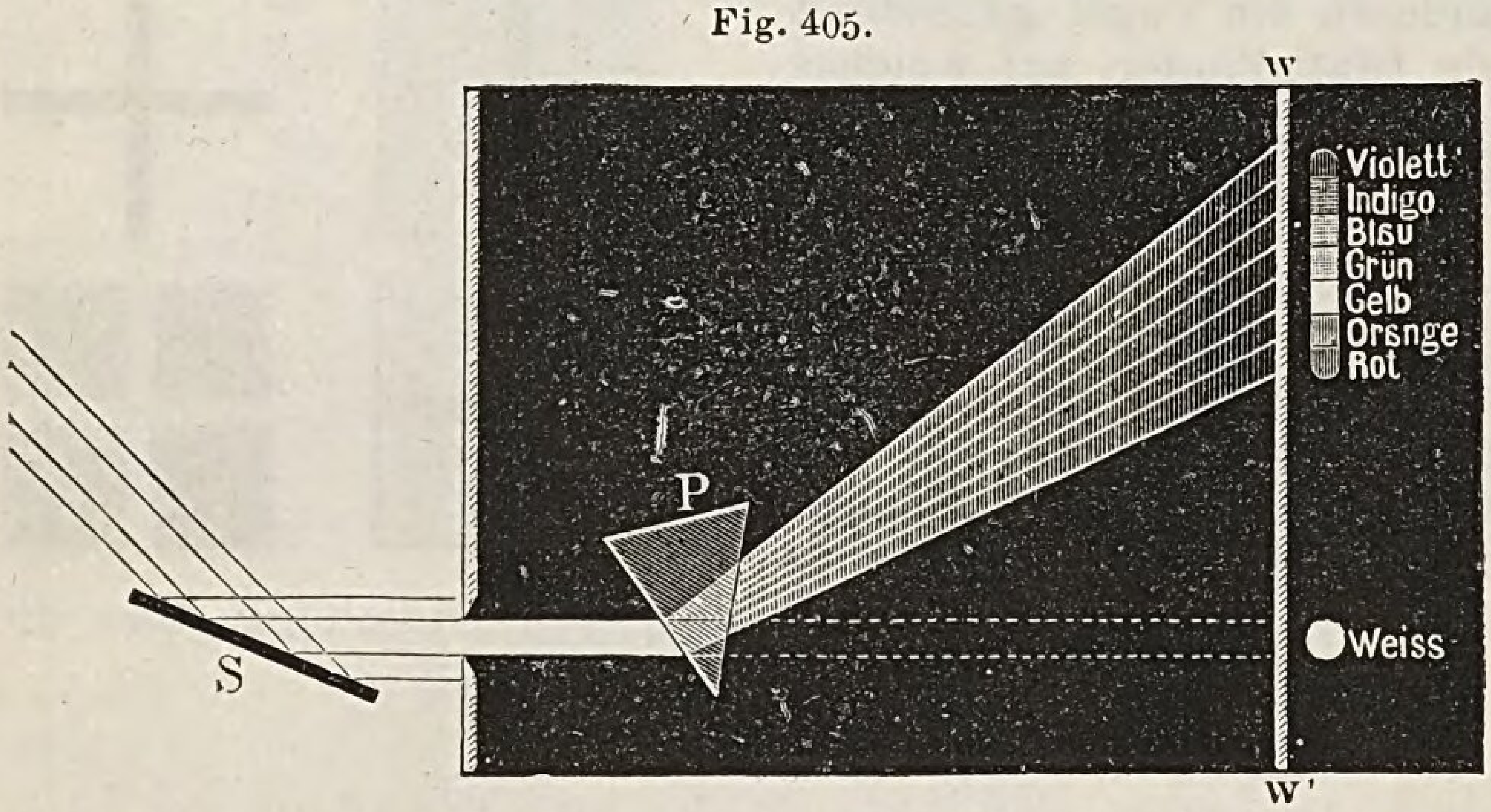


Fig. 404.



Versuch b. 1. Ein schmaler Spalt erscheint im S o n n e n l i c h t e, wenn er durch ein Prisma betrachtet wird, zu einem r e g e n b o g e n f a r b i g e n B a n d e verbreitert, in welchem die rote Farbe am wenigsten, die violette am stärksten abgelenkt ist. **2.** Läfst man durch eine kleine Öffnung im Fensterladen direktes Sonnenlicht in das stark verdunkelte Zimmer dringen, so entsteht auf einem der Öffnung gegenüber aufgestellten weifsen Schirme ein w e i f s e s S o n n e n b i l d; werden aber die Strahlen durch ein Prisma stark abgelenkt, so entsteht ein r e g e n b o g e n f a r b i g e r S t r e i f e n (Fig. 405). In diesem Streifen lassen sich 7 Farben: *Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo* und *Violett* (oder 3 Grundfarben: Rot, Gelb und Blau) unterscheiden, welche allmählich ineinander übergehen (Fig. 406). Die Strahlen, welche das Rot erzeugen, sind am wenigsten, diejenigen, durch welche das Violett hervorgerufen wird, am stärksten gebrochen.

Fig. 405.



In Fig. 405 sei S ein ebener Glasspiegel, der an der Aufsenseite des Fensterladens so anzubringen ist, dafs er (bei einfachster Einrichtung) mit der Hand nach dem Stande der Sonne gedreht werden kann (sogen. H e l i o s t a t).

Die Zerlegung des Lichtes in seine Farben wird **Farbenzerstreuung,** *das durch die Zerlegung entstehende farbige Bild* **Spektrum**[1]) *genannt.*

Das **weifse Licht** besteht aus Strahlen von verschiedener Brechbarkeit, welche nach ihrer Zerstreuung verschiedene Farben **(Spektralfarben)** hervorrufen. Die am stärksten brechbaren Strahlen erzeugen die v i o l e t t e, die am schwächsten brechbaren die r o t e Farbe.

Versuch c. Werden sämtliche Strahlen des Sonnenlichtes nach ihrer Zerstreuung mittelst einer Konvexlinse vereinigt (Fig. 407, folg. Seite), so erhält man wieder w e i f s e s Licht.

B e m. Eine schnell gedrehte, kreisförmige Scheibe, auf welcher die Farben des Spektrums möglichst rein in Kreisausschnitten aufgetragen sind (Fig. 408, folg. Seite), erscheint nicht in reinem Weifs; warum?

[1]) spĕcio, sehen, schauen.

Versuch d. Läſst man die Strahlen irgend einer dieser Strahlengattungen durch einen in dem Schirme S_1 befindlichen Spalt auf ein zweites Prisma fallen, so findet abermals eine Brechung statt, wobei jedoch die Farbe unverändert bleibt.

Fig. 406.



Fig. 407.

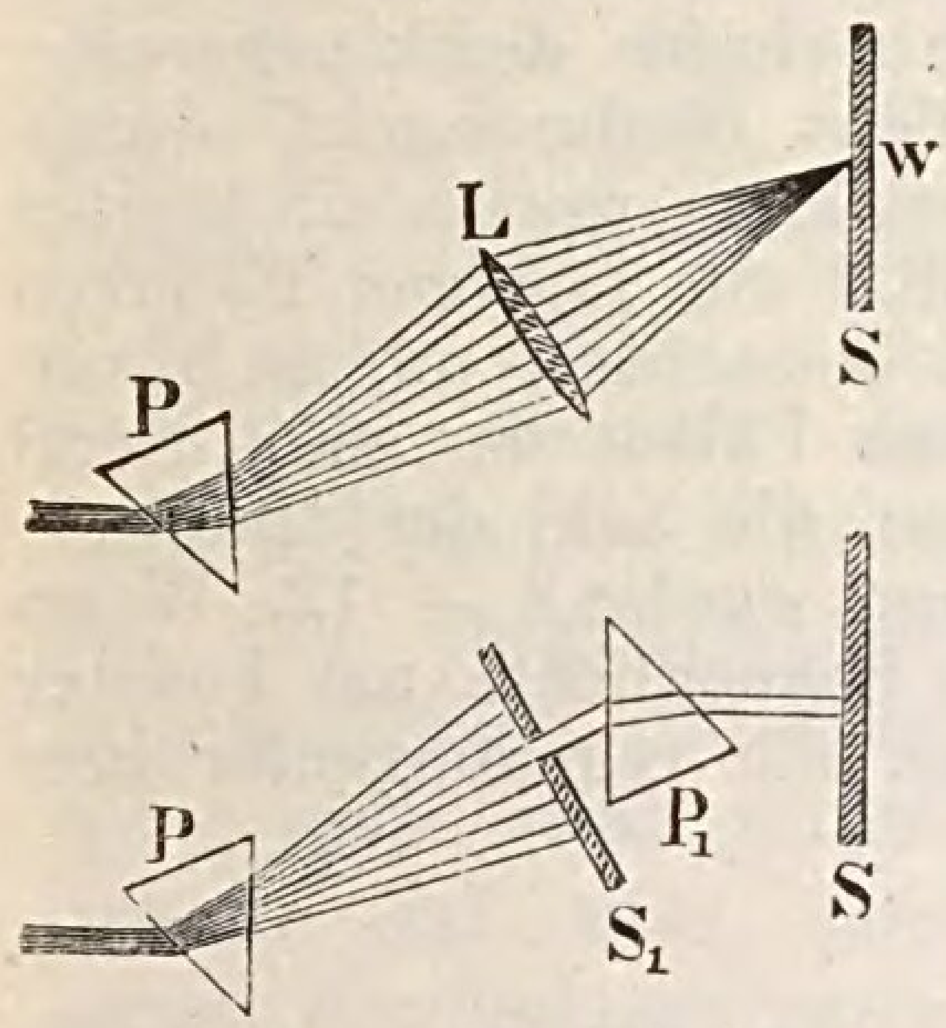
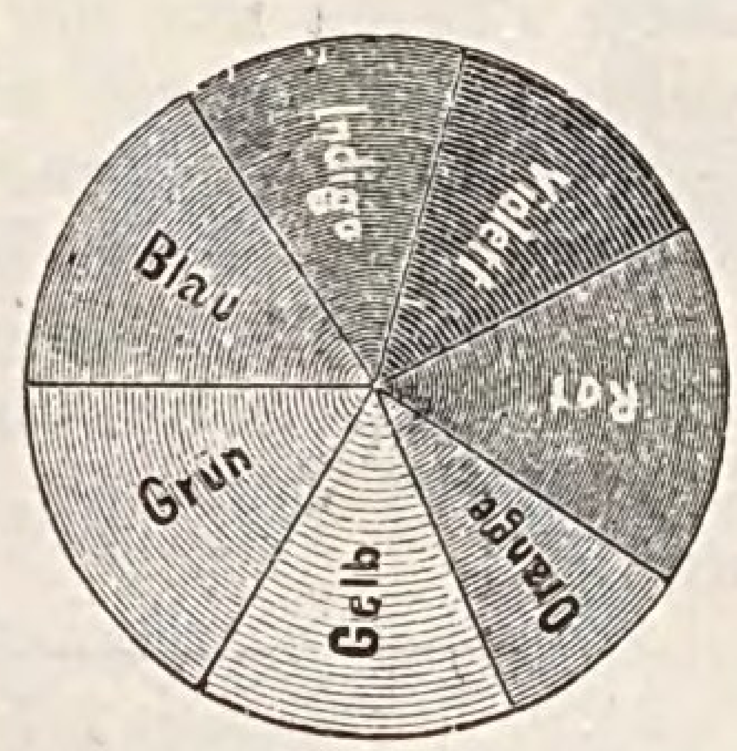


Fig. 408.



Durch Vereinigung aller Spektralfarben entsteht wieder Weiſs. — Die Spektralfarben sind einfache Farben; das sie erzeugende Licht ist einfaches Licht.

Versuch e. Verdeckt man bei der Vereinigung der Spektralfarben (Fig. 407) eine Farbe, so entsteht statt weiſsen Lichtes eine Mischfarbe und zwar Grün, wenn man die roten Strahlen, Rot, wenn man die grünen ausschlieſst, ferner Blau, wenn man Orange, Violett, wenn man Gelb ausschlieſst und umgekehrt. — Durch Vereinigung von Rot und Grün, Orange und Blau, Gelb und Violett entsteht wieder Weiſs.

Bem. Wird einer der farbigen Kreisausschnitte (Fig. 408) durch ein darauf befestigtes schwarzes Stück Pappe verdeckt, so treten bei schneller Drehung der Scheibe die vorhin angeführten Erscheinungen um so reiner hervor, je mehr die Farben der Scheibe mit den Spektralfarben übereinstimmen.

Weiſs entsteht nicht allein durch Mischung aller Spektralfarben, sondern auch dadurch, daſs nur 2 Farben des Spektrums (Rot und Grün, Orange und Blau, Gelb und Violett) miteinander vereinigt werden.

Zwei Farben, welche einander zu Weiſs ergänzen, werden **Ergänzungs-** *oder* **Komplementärfarben** *genannt.*

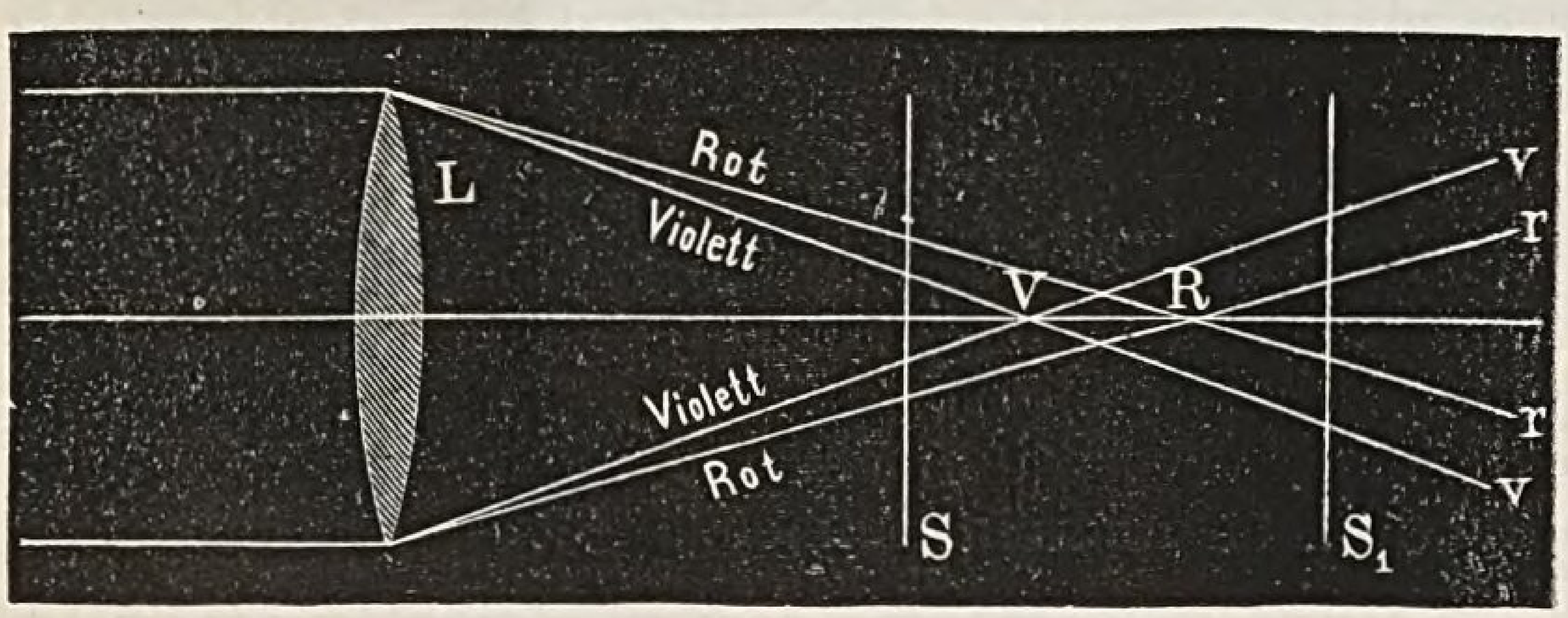
Die Zusammensetzung des weiſsen Lichtes wurde von Newton (1666) nachgewiesen. Er unterschied die genannten sieben Farben im Sonnenspektrum nach Analogie der Töne der Tonleiter.

Übungsstoff. 1. Warum ist zu dem durch Fig. 405 veranschaulichten Versuche ein gekrümmter Spiegel unbrauchbar? — 2. Warum ist ferner ein auf der Vorderseite versilberter Glasspiegel einem auf der Rückseite geschwärzten Spiegel vorzuziehen? — 3. Einfluſs der Entfernung des Schirmes (w, Fig. 405) vom Prisma

auf die Gröfse und Lichtstärke des Spektrums? Grund! — 4. Welchen Vorteil bietet demnach die Anwendung eines Prismas, das aus einem das Licht möglichst stark brechenden Stoffe besteht? — 5. Einflufs der Gröfse des brechenden Winkels? — 6. Wie erklärt es sich, dafs die rote Farbe bei Versuch a (Fig. 404) von der brechenden Kante des Prismas ab-, bei Versuch b_2 (Fig. 405) dagegen derselben zugewandt erscheint? — 7. Wenn man bei Versuch b_2 das Prisma schnell hin- und herbewegt, so sieht man in der Mitte des farbigen Streifens weifses Licht. Erkl.! — 8. Welche Ersch. wird sich zeigen, wenn man zwei oder mehrere dicht nebeneinander liegende schmale Öffnungen, durch welche Sonnenlicht hindurchgeht, durch ein Prisma betrachtet? Erkl.! — 9. Versuche hiernach zu erklären, warum ein breites Strahlenbündel nahe hinter dem Prisma nur ein weifses Bild mit farbigen Rändern liefert, desgl. warum eine weifse Fläche durch ein Prisma betrachtet, nur an ihren Rändern farbig erscheint. — 10. Warum sieht in solchen Fällen der eine Rand rötlichgelb, der andere blauviolett aus? — 11. Warum kann die Zahl der Spektralfarben als eine mehr oder weniger willkürliche bezeichnet werden? — 12. Wenn eine etwa halb mit W. gefüllte Trinkflasche im direkten Sonnenlichte am Fenster steht, so ist auf dem Fufsboden des Zimmers gewöhnlich ein regenbogenfarbiger Lichtschein sichtbar. Erklärung!

§ 109. Chromatische Abweichung. Achromatische Prismen und Linsen. Da mit der Brechung des Lichtes zugleich eine Farbenzerstreuung eintritt, so müssen die durch einfache Linsen erzeugten Bilder aufser derjenigen Undeutlichkeit, welche durch zu starke Brechung der Randstrahlen hervorgerufen wird (sphärische Abweichung, Seite 252), noch eine andere Undeutlichkeit zeigen, welche durch die ungleiche Brechung der das Licht zusammensetzenden farbigen Strahlen entsteht. Die Bilder erhalten dadurch farbige Ränder (Fig. 370, bei starker Vergröfserung). Dies erklärt sich daraus, dafs die Brennweite einer Linse für die einzelnen Strahlengattungen nicht genau dieselbe ist (Fig. 409), wie sich durch folgenden Versuch nachweisen läfst.

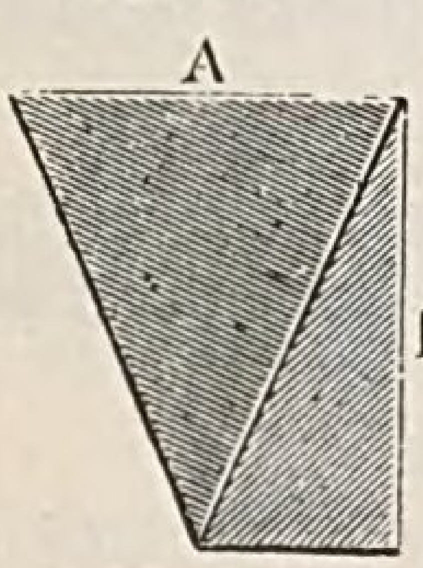
Fig. 409.



Versuch a. Läfst man im verdunkelten Zimmer Sonnenstrahlen durch eine Sammellinse hindurchgehen, so ist der äufsere Rand des Strahlenkegels innerhalb der Brennweite der Linse (auf dem Schirm S) rot, aufserhalb derselben (auf S_1) violett gefärbt.]

Die durch eine einfache Linse erzeugten Bilder haben infolge der Farbenzerstreuung farbige Ränder: **Chromatische**[1]) **Abweichung.**

Fig. 410.



Versuch b. Werden 2 Prismen aus verschiedenen Glassorten, ein *Kron-* und ein *Flintglasprisma,* von denen ersteres (Fig. 410, A) einen nahezu doppelt so grofsen brechenden Winkel hat, als letzteres (B), in

[1]) χρομα (chrōma), Farbe.

umgekehrter Lage zu einem Prisma vereinigt, so erscheinen die Ränder der durch sie betrachteten Gegenstände zwar verschoben, aber nicht farbig.

Dies erklärt sich daraus, dafs Kronglas die Strahlen zwar ebenso stark bricht, aber viel weniger zerstreut als Flintglas (siehe die Spektren, Fig. 411). Infolgedessen ist die brechende Kraft jener beiden Prismen ungleich, die Farbenzerstreuung aber gleich. Die Ablenkung der Strahlen, welche durch das eine der beiden Prismen hindurchgehen, wird daher bei der entgegengesetzten Lage der Prismen durch das andere Prisma nur teilweise, die Farbenzerstreuung aber ganz aufgehoben. *Das Ergebnis ist also eine Lichtbrechung ohne Farbenzerstreuung.* — Dasselbe läfst sich auch dadurch erreichen, dafs man eine Konvexlinse von Kronglas (Fig. 412) mit einer schwächer gekrümmten Konkavlinse von Flintglas zu einer Sammellinse verbindet.

Fig. 411.

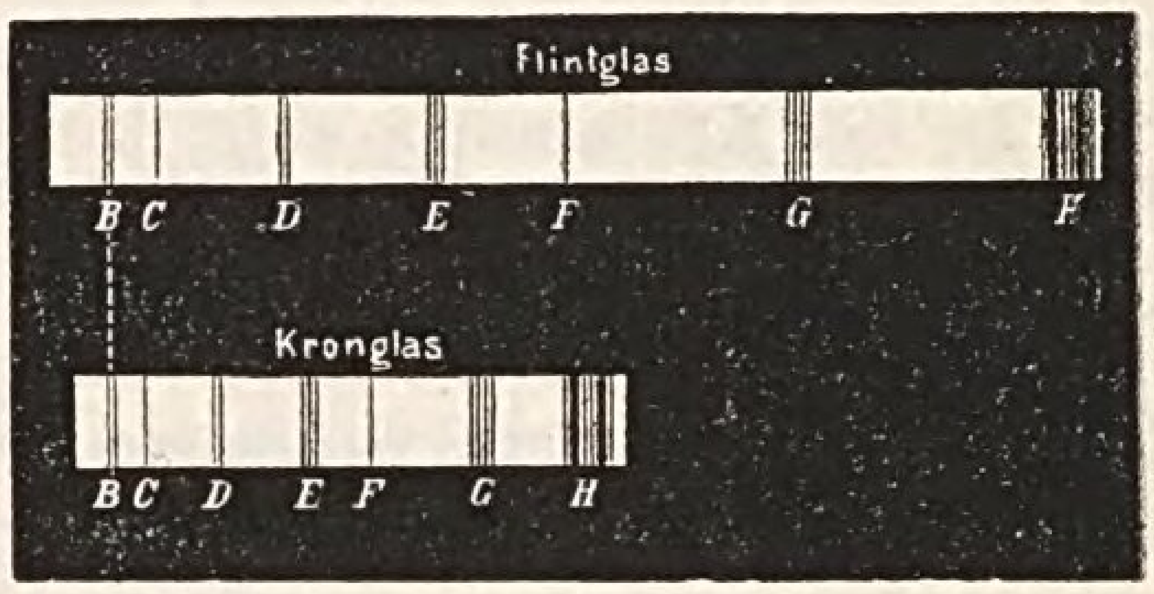
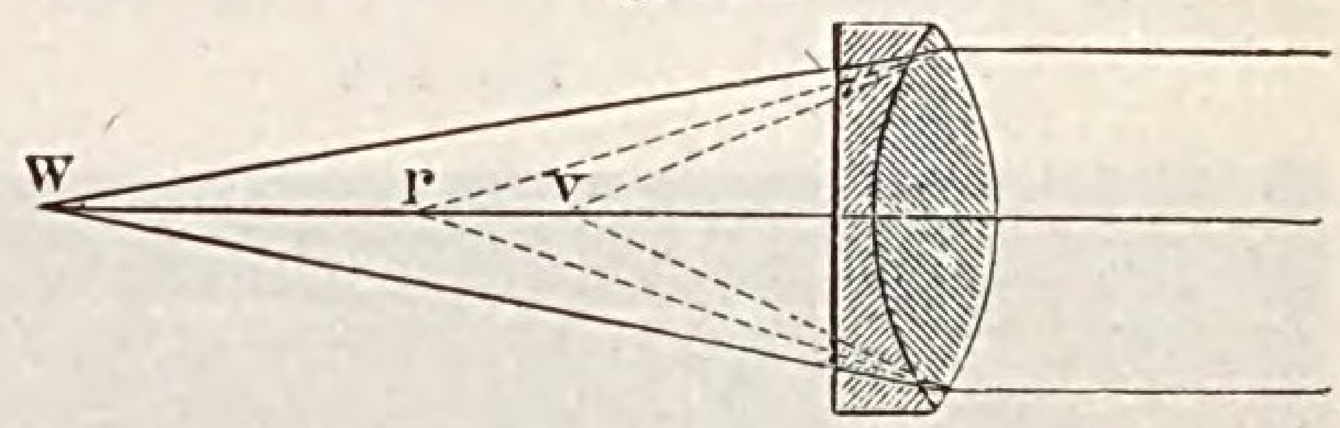


Fig. 412.



Denkt man sich in Fig. 410 das Prisma B an die linke Seite gelegt, so entspricht das Doppelprisma der unteren Hälfte der in Fig. 412 dargestellten Doppellinse. Durch die Konvexlinse allein würden die violetten Strahlen in v, die roten in r vereinigt werden; die Konkavlinse bewirkt, dafs diese beiden Brennpunkte in gröfserer Entfernung von der Linse zusammenfallen, indem sie die vorher stärker nach innen gebrochenen violetten Strahlen um ebensoviel stärker nach aufsen ablenkt.

Der Brechungsexponent für Luft und Kronglas ist ungefähr $\frac{3}{2}$, für Luft und Flintglas $\frac{5}{3}$ (Flintglas enthält mehr Bleioxyd als Kronglas).

Eine Verminderung der chromatischen Abweichung läfst sich auch schon dadurch erreichen, dafs man zwei Konvexlinsen von derselben Glassorte in passendem Abstande miteinander verbindet (siehe Fig. 381, o und o_1). Man denke sich in Fig. 412 die Konkavlinse durch eine konvexe Linse ersetzt; dann würden die beiden Brennpunkte r und v durch die zweite Konvexlinse (umgekehrt wie vorhin) näher an die Linsen herangerückt und zwar der Brennpunkt der roten Strahlen stärker als der Brennpunkt der violetten, weil erstere durch jene Linse eine stärkere Brechung erleiden als letztere.

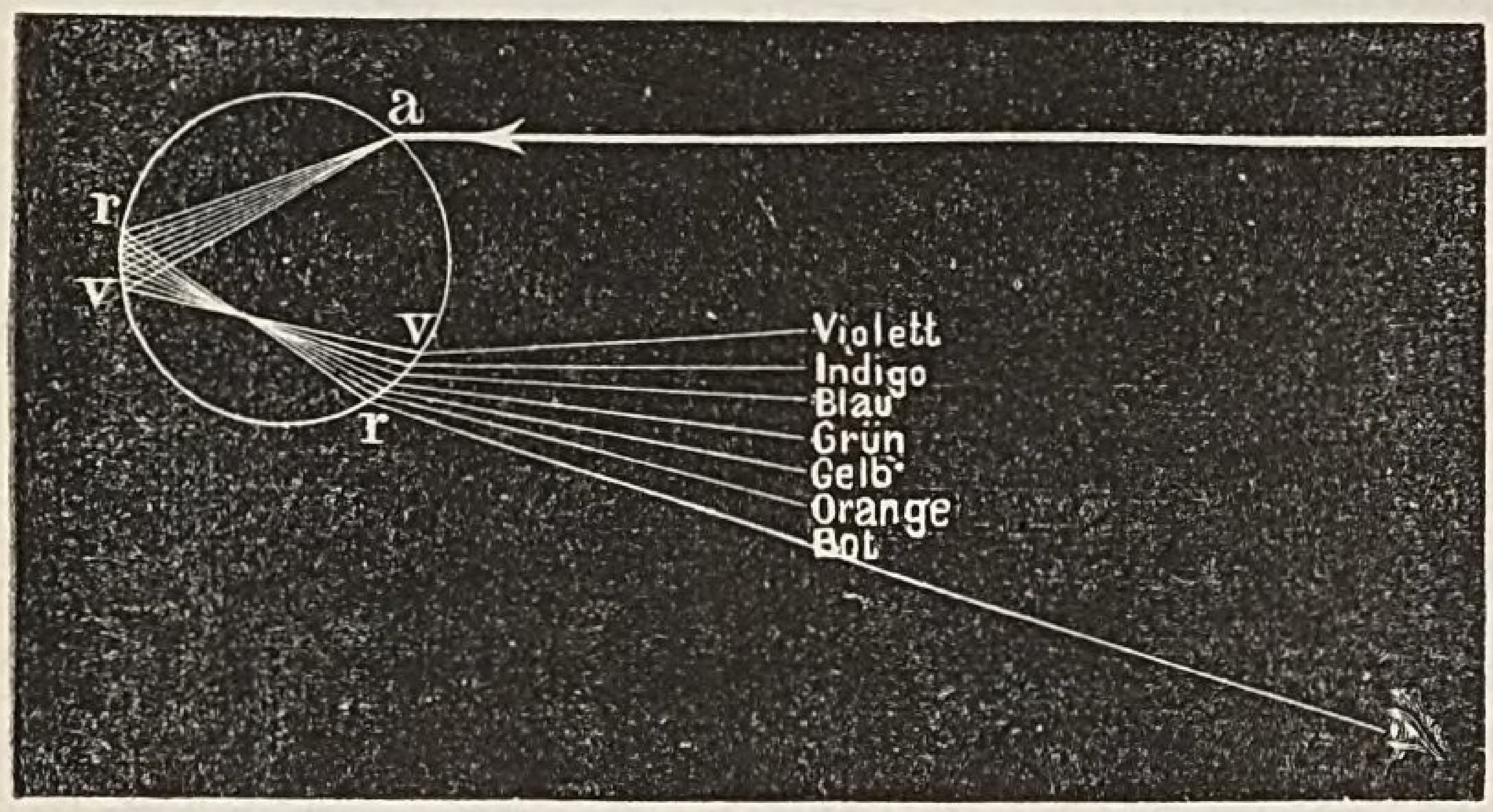
Aus Kron- und Flintglas zusammengesetzte Linsen geben Bilder ohne farbige Ränder und werden deshalb **achromatische** (farbenfreie) **Linsen** genannt. Die Herstellung wirklich brauchbarer Mikroskope und Linsenfernrohre ist erst durch die Erfindung achromatischer Linsen (1757) ermöglicht worden. Newton hielt die Herstellung achromatischer Linsen-Objektive noch für unmöglich und wandte deshalb zu seinen astronomischen Beobachtungen Spiegelfernrohre an.

Übungsstoff. 1. Wodurch wird die sphärische Abweichung des Lichtes beim menschlichen Auge verhütet? — 2. Betrachtet man über einen weifsen K. hinweg (z. B. Stückchen Papier auf einer Spitze) einen viel weiter entfernten Gegenstand längere Zeit mit einem Auge, so erscheint der weifse K. rötlich umrandet; wann aber ohne solchen Rand? Inwiefern ist dies ein weiterer Grund für die Bedeutung des Akkommodationsvermögens? — 3. Warum haben die Lichtbilder, welche durch gekrümmte Spiegel entstehen, keine farbigen Ränder? — 4. Von zwei Lupen bestehe die eine aus einer einzelnen, die andere aus zwei einfachen konvexen Linsen; die Vergröfserung sei bei beiden dieselbe. Welche von denselben ist vorzu-

ziehen, u. w.? — 5. Wie ist diese Wirkung der zusammengesetzten Linse zu erklären? — 6. Zwei Prismen, von denen das eine aus Kron-, das andere aus Flintglas bestehe, seien nach Fig. 410 miteinander verbunden; ihre brechenden Winkel seien gleich. Optische Wirkung? — 7. Das Prisma A, Fig. 410, bestehe aus Flintglas, das Prisma B aus Kronglas. Optische Wirkung? — 8. Inwiefern läfst sich aus Versuch b schliefsen, dafs die zerstreuende Wirkung des Flint- und Kronglases der brechenden Wirkung dieser beiden Glassorten nicht proportional ist? — 9. Vgl. die Stärke der Krümmung einer Linse aus Flintglas mit der Krümmung einer Linse aus Kronglas, wenn durch beide die Strahlen gleichstark gebrochen werden. — 10. Desgl. die Stärke der Strahlenbrechung, wenn beide gleichstark gekrümmt sind. — 11. Ferner die Stärke der Farbenzerstreuung bei gleicher Krümmung der Linsen, und umgekehrt. — 12. Welche Glassorte ist hiernach zu den einfachen optischen Instrumenten (Lupen, Brillen u. dgl.) am besten geeignet?

§ 110. Die Farbenerscheinungen in der Atmosphäre.

Fig. 413.

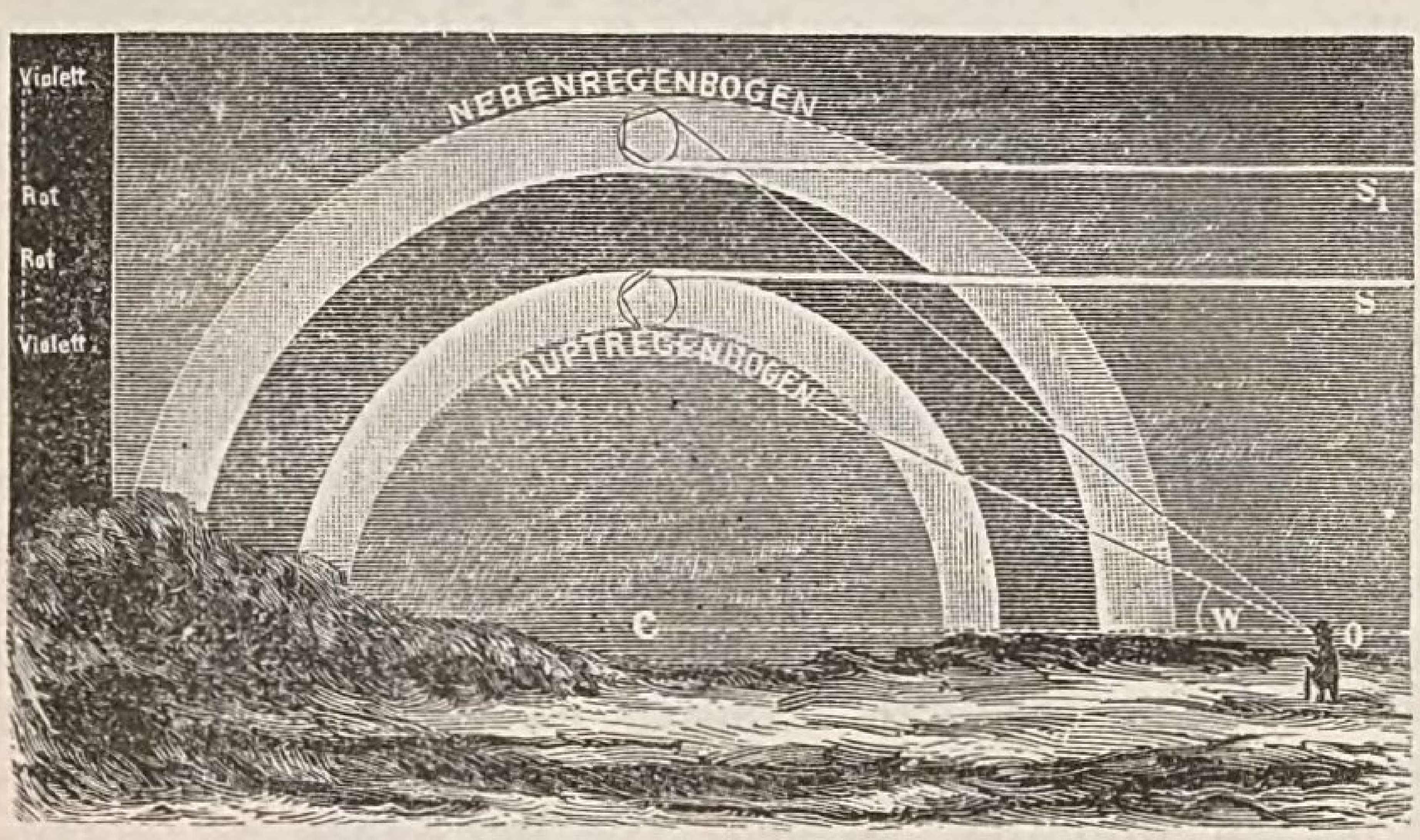


Fällt direktes Sonnenlicht auf einen Wassertropfen, etwa auf einen Tautropfen, so wird ein Teil der Strahlen von der vorderen Fläche wieder zurückgeworfen, während ein anderer Teil in den Tropfen eindringt. Von diesen Strahlen erleiden manche aufser der Brechung und Farbenzerstreuung an der Rückwand des Tropfens noch eine totale Reflexion (Fig. 413), sodafs sie an der beleuchteten Seite desselben nach abermaliger Ablenkung wieder austreten und hier einen farbigen Glanz hervorrufen.

In welcher Farbe der Tropfen erscheint, hängt von der Stellung ab, die das Auge gegen den Tropfen einnimmt (siehe die Figur), während die Stärke des Farbeneindruckes offenbar dadurch bedingt ist, wieviele gleichfarbige Strahlen ins Auge dringen. Die Zahl dieser Strahlen mufs um so gröfser sein, je weniger die Richtungen derselben von einander abweichen.

Hierdurch läfst sich die bekannte Erscheinung des **Regenbogens** (Fig. 414) erklären, welche wir wahrnehmen, wenn vor uns eine regnende Wolke und hinter uns die Sonne steht. Fiele nämlich ein einzelner Regentropfen nahe vor uns herab, so würde er, wenn wir ihn mit dem Auge verfolgen könnten, auf einer gewissen Strecke seines Weges wie ein Tautropfen farbig glänzen, und

Fig. 414.



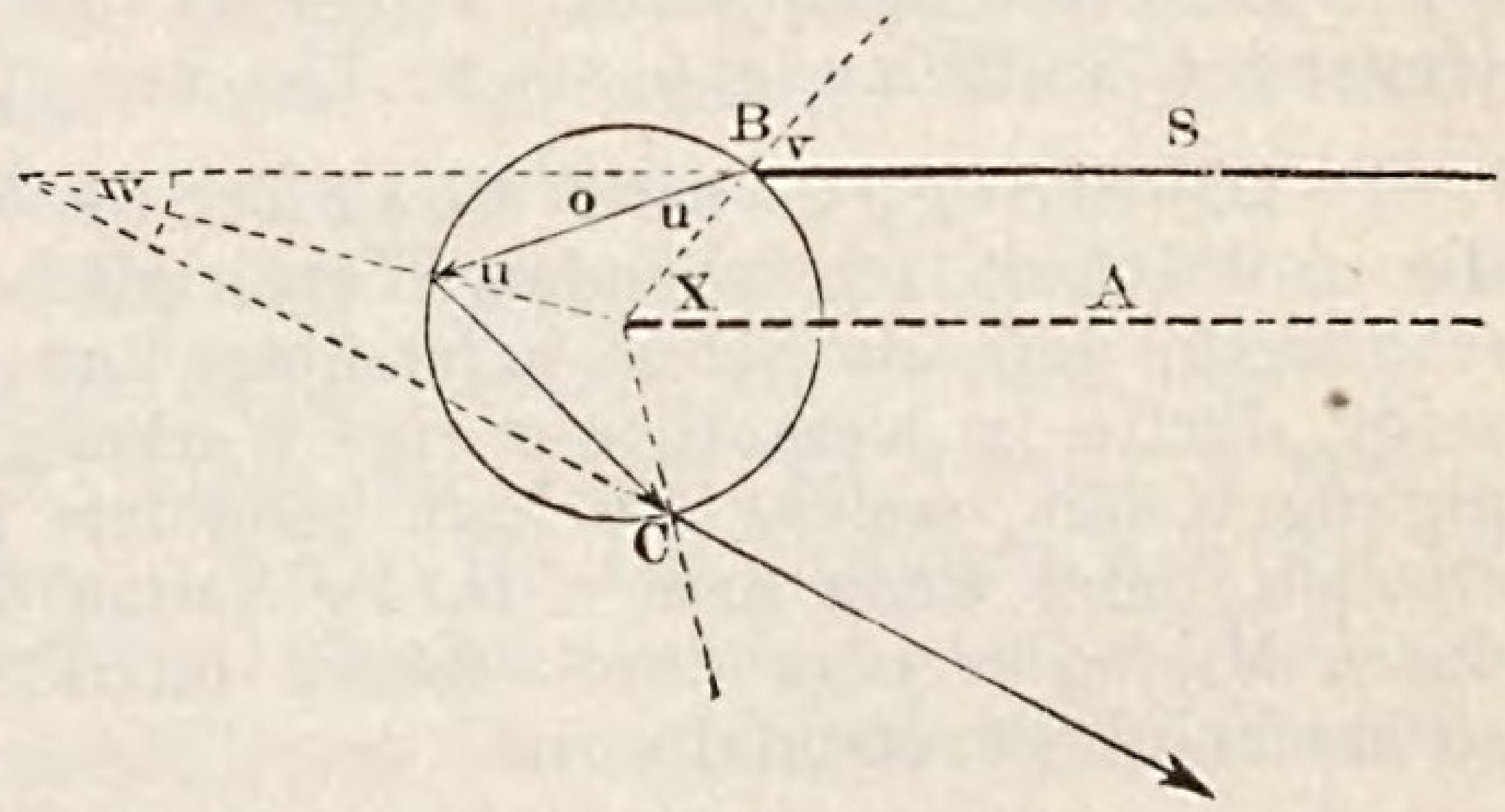
zwar würden (nach obiger Figur) sämtliche Farben des Spektrums vom Rot bis zum Violett nacheinander sichtbar werden. Diese Farbeneindrücke können bei größerer Entfernung des Tropfens jedoch nur dann deutlich sein, *wenn zahlreiche Strahlen derselben Farbe ins Auge dringen, also wenn das in den Tropfen eingedrungene Sonnenlicht so wieder austritt, dafs die gleichfarbigen Strahlen parallel sind.* Dies ist nur bei einer bestimmten Lage des Tropfens gegen Sonne und Auge möglich. Dafs wir beim Regenbogen alle Farben gleichzeitig sehen, kann somit nur eine Folge sein von dem Zusammenwirken zahlreicher Tropfen, welche verschiedene Lagen gegen unser Auge einnehmen. Tropfen, welche gegen Sonne und Auge eine gleiche Lage haben, d. h. welche so liegen, dafs die in sie eindringenden Strahlen des weifsen Sonnenlichtes mit den ins Auge eintretenden farbigen Strahlen gleiche Winkel bilden, müssen auch gleiche Farbeneindrücke hervorrufen.

Denken wir uns nun z. B. einen Tropfen, welcher rote Strahlen in unser Auge sendet, durch gerade Linien mit dem Mittelpunkte der Sonne und der Pupille unseres Auges verbunden und ebenfalls durch Sonne und Auge eine Gerade gelegt, so ist durch den entstehenden Winkel (∢ w) die gegenseitige Lage von Sonne, Tropfen und Auge bestimmt. Dieser Winkel ist offenbar derselbe für alle Regentropfen, welche einem Kreisbogen angehören, dessen Mittelpunkt auf einer durch die Sonne und das Auge gehenden geraden Linie (OC, Fig. 414) liegt.*) Die Gröfse dieses Winkels beträgt, wie sich berechnen läfst, für die roten Strahlen ungefähr 42^0, für die violetten ungef. 40^0, im Mittel also 41^0.†) *Jeder Farbenstreifen mufs demnach die Form eines*

*) Man denke sich zunächst, die Ebene, in welcher die angedeuteten Strahlen liegen, stehe (durch Drehung um eine durch C gehende senkrechte Achse) senkrecht auf der Bildfläche. Hierauf stelle man sich vor, sie werde um OC als Achse gedreht.

†) Bestimmung der Gröfse des Winkels w (Fig. 415): $\sphericalangle \frac{w}{2} = u - o$ (da u Aufsenwinkel des Dreiecks ist), folglich $\sphericalangle w = 2u - 2o$. Nun ist $\sphericalangle o = v - u$, mithin $\sphericalangle w = 2u - (2v - 2u) = \mathbf{4u - 2v}$.

Fig. 415.



Es ist nun $\frac{\sin v}{\sin u}$ (Brechungsexponent n) für rote Strahlen $= \frac{108}{81}$, für violette $= \frac{109}{81}$. Für jeden Einfallswinkel läfst sich also der Brechungswinkel und aus beiden ∢ w berechnen. Führt man diese Rechnung für Strahlen aus, die in immer gröfserem Abstande von der Achse A parallel zu dieser einfallen, deren Einfallswinkel also von Null an zunimmt, so findet man:

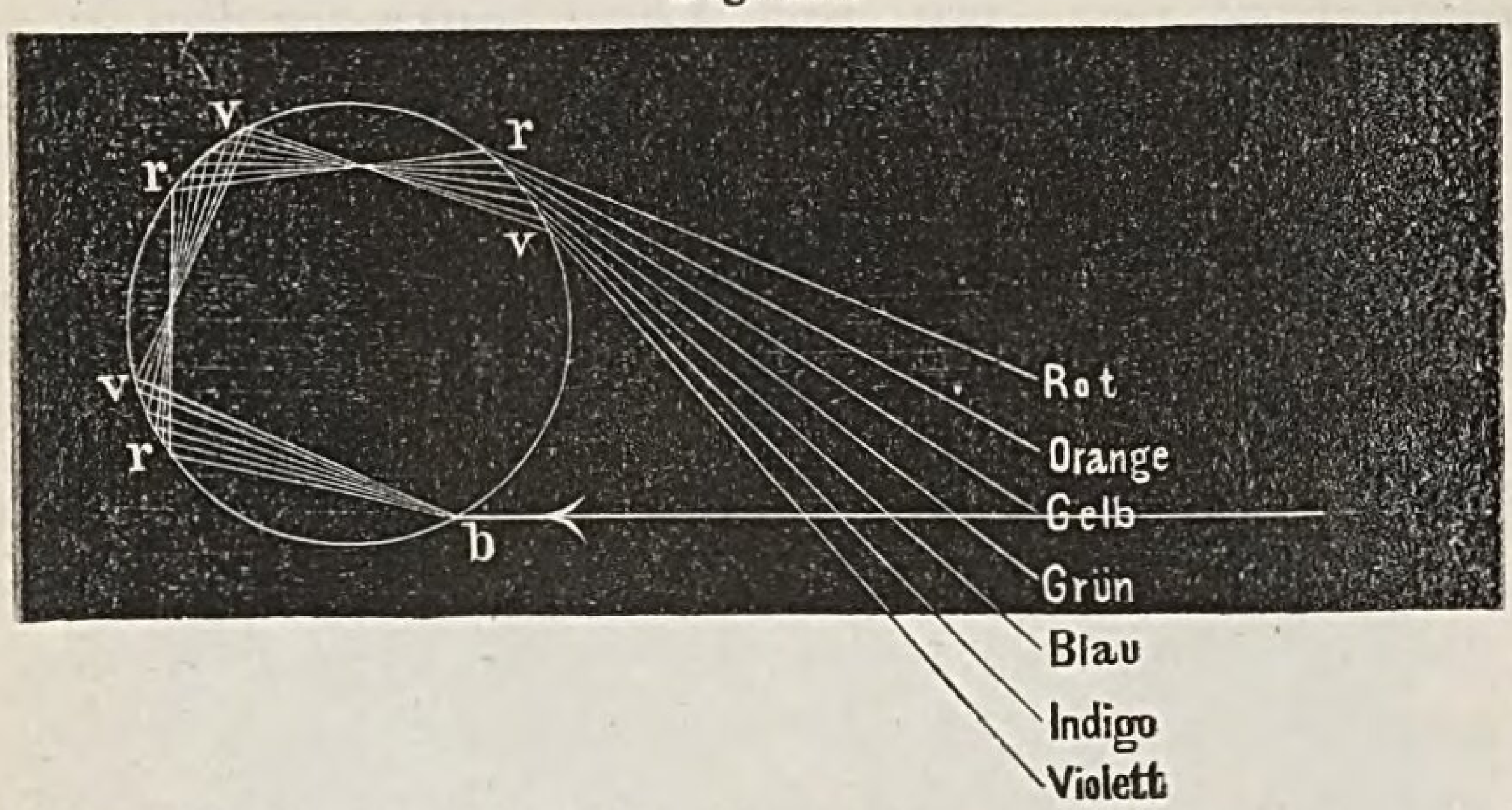
1) dafs ∢ w von Null bis zu einer bestimmten Grenze wächst und dann wieder abnimmt, dafs bis dahin also die aus dem Tropfen austretenden gleichfarbigen Strahlen zweier benachbarten parallel einfallenden Sonnenstrahlen divergieren (unmerklicher Farbeneindruck),

2) dafs in der Nähe jener Grenze benachbarte Strahlen derselben Farbengattung bei ihrem Austritte immer schwächer divergieren und bei einem bestimmten Einfallswinkel (∢ v, dessen Cosin. $= \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}$ oder dessen Sinus $= \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$ nach

Kreisbogens haben, dessen scheinbarer Radius immer derselbe ist; sämtliche Farbenstreifen müssen einander wie Teile konzentrischer Kreise umfassen, und zwar mufs der violette Streifen den inneren, der rote den äufseren Bogen bilden, da nach Fig. 414 die violetten Strahlen bei ihrer gröfseren Brechbarkeit nur aus tieferen, d. h. dem Mittelpunkte des Regenbogens näher stehenden Tropfen ins Auge gelangen können. *Der Mittelpunkt des Regenbogens liegt hiernach auf einer durch die Sonne und das Auge des Beobachters gehenden geraden Linie.*

Der Glanz, in welchem uns der Regenbogen erscheint, hängt von der Anzahl der ins Auge gelangenden gleichfarbigen Strahlen, also von der Dicke der Regenwand ab.

Fig. 416.



Bisweilen ist aufserhalb des Regenbogens noch ein (etwas breiterer **Nebenregenbogen** wahrzunehmen, dessen Glanz matter ist und dessen Farben in umgekehrter Ordnung aufeinander folgen. Dieser Regenbogen entsteht dadurch, dafs die Sonnenstrahlen von der hinteren Fläche der Regentropfen zweimal zurückgeworfen werden. (Man denke sich, der in Fig. 416 dargestellte Tropfen falle vor den Augen nieder.)

Die farbigen Ringe **(Höfe)**, welche man häufig um den Mond, seltener dagegen um die Sonne beobachtet, entstehen durch Brechung und farbige Zerstreuung des Lichtes in feinen Eisnadeln, die wie Prismen wirken. Sie sind am häufigsten und schönsten in den Polargegenden zu beobachten.

Blaue Farbe des Himmels. Morgen- und Abendröte.

Die blaue Farbe des Himmels erklärt sich daraus, dafs die Luft nicht vollkommen durchsichtig ist und vorzugsweise die blauen Strahlen zurückwirft. Dieses Blau scheint durch Wasserdämpfe wesentlich verstärkt, durch Wasserteilchen geschwächt zu werden, denn in den Tropengegenden, wo die Luft sehr reich an Wasserdämpfen ist, erscheint der Himmel tiefblau, während er in kälteren Gegenden mattblau und um so bleicher aussieht, je kälter die Luft ist.

Die Morgen- und Abendröte des Himmels scheint namentlich durch die in der Luft schwebenden Wasserteilchen hervorgerufen zu werden. — Die Erscheinung, dafs die Sonne nahe über dem Horizonte sehr häufig rötliche Färbung zeigt, dürfte im wesentlichen eine Wirkung der Staubteilchen und sonstiger Verunreinigungen sein, welche die Luft besonders in den unteren Schichten der Atmosphäre erfüllen, denn wenn man z. B. die Sonne durch eine mit Rufs bedeckte Glasscheibe, durch Milchglas oder durch Rauch (z. B. sogen. Höhenrauch) hindurch betrachtet, so erscheint sie ebenfalls rot.

Übungsstoff. 1. Auf einer mit Tau benetzten Wiese erscheinen von einem bestimmten Standpunkte aus nur immer gewisse Tropfen farbig; w.? — 2. Wenn man sich einem farbig glänzenden Tautropfen mehr und mehr nähert, so ändert sich auch der Farbeneindruck. Erkl.! — 3. Inwiefern hängt es von der Entfernung

trigon. Rechnung) die benachbarten gleichfarbigen Strahlen parallel austreten; dieser Winkel (∢v) ist für rote Strahlen gleich 59° 23′, ∢w = 42° 2′, für violette Strahlen gleich 58° 40′, ∢w = 40° 16′ (deutlicher Farbeneindruck).

des Tropfens ab, ob eine oder mehrere Farben in demselben sichtbar sind? — **4.** Wie mufs sich bei einem Regenbogen die durch einen einzelnen Tropfen der Regenwand hervorgerufene Farbenerscheinung ändern, indem der Tropfen vor uns niederfällt, u. w.? — **5.** Unter welcher Bedingung kann in dem Wasserstaube eines Springbrunnens oder eines Wasserfalles ein Regenbogen entstehen? — **6.** Wie erklärt es sich, dafs der Regenbogen an der äufseren Seite rot, an der inneren violett aussieht? — **7.** Warum kann statt des Bogens kein gerader (senkrechter oder wagerechter) Farbenstreifen entstehen? — **8.** Warum kann Beobachtern, welche weit voneinander entfernt sind, der Regenbogen nicht genau an derselben Stelle erscheinen? — **9.** Wovon hängt es ab, wie hoch der Regenbogen am Himmel steht? — **10.** Bei welcher Sonnenhöhe mufs der obere Rand des Regenbogens mit dem Horizonte zusammenfallen? (Man denke sich die Ebene, in welcher S, S_1, OC u. s. w. liegen, Fig. 414, um O so gedreht, dafs sich C abwärts bewegt.) — **11.** Wann bildet der Regenbogen einen Halbkreis? (Einflufs der Jahreszeit!) — **12.** Auf dem Gipfel sehr hoher Berge und vom Luftballon aus ist bisweilen ein nahezu vollständiger Kreis sichtbar. Erkl.! — **13.** Inwiefern hängt es a. mit der Jahreszeit, b. mit der geogr. Lage eines Ortes zusammen, wielange am Tage ein Regenbogen entstehen kann? — **14.** Wie mag es sich erklären, dafs die blaue Farbe des Himmels bei klarem Wetter im Sommer, besonders nach einem Regen, dunkler erscheint als im Winter? — **15.** Wäre die Luft für alle Sonnenstrahlen vollkommen durchlässig, so müfste der Himmel farblos (schwarz) erscheinen; w.? (Erscheinungen im Hochgebirge.)

§ 111. Absorption des Lichtes. Natürliche Farben der Körper. Fluorescenz. Phosphorescenz. Vergleicht man die Lichtmengen miteinander, welche von den Körpern zurückgeworfen und durchgelassen werden, so ergeben sich mancherlei Unterschiede. Während z. B. ein gegen die Sonne gehaltener Spiegel die Lichtstrahlen ohne merkliche Abnahme der Lichtstärke zurückwirft, verschwindet der Lichtschein vollständig, wenn man den Spiegel durch eine mattschwarze Platte ersetzt. Beide Körper lassen kein Licht durch sich hindurch. Durch farblose Fensterscheiben wird das Tageslicht im Zimmer kaum merklich geschwächt, während farbige Scheiben die Zimmer verdunkeln. Hieraus geht hervor:

Die Körper vermögen das in sie eindringende und von ihnen zurückgehaltene (absorbierte) Licht ganz oder teilweise auszulöschen.

Die meisten Körper, von denen Licht in unser Auge gelangt, erscheinen uns in gewissen Farben. In welcher Farbe uns ein Körper im Tageslichte erscheint, hängt offenbar davon ab, welche von den farbigen Bestandteilen des in ihn eingedrungenen Lichtes ausgelöscht werden, denn nur der nicht ausgelöschte Teil kann, indem er zurückgeworfen oder durchgelassen wird, als Licht in unser Auge gelangen. Geeignete Versuche ergeben nun, dafs ein farbiger Körper von den im Sonnenlichte enthaltenen farbigen Strahlen ungleiche Mengen auslöscht, sodafs also der Farbeneindruck durch das Zusammenwirken verschiedener Bestandteile des Lichtes entsteht, ähnlich wie durch verschiedene einfache Töne die Klangfarbe hervorgerufen wird.

Versuch. Läfst man das Sonnenspektrum auf farbiges Papier fallen, oder schaltet man nahe am Prisma eine farbige Glasscheibe in das Strahlenbündel ein, so erscheinen gewisse Farben verdunkelt, andere hell. — Schmale einfarbige Papierstreifen oder dergl. erscheinen auf schwarzem Grunde, durch ein stark brechendes Prisma betrachtet, mehrfarbig.

Die Farbe, welche ein Körper im Tageslichte zeigt, wird seine **natürliche Farbe** *genannt.*

Die natürliche Farbe eines Körpers ist durch die von ihm zurückgeworfenen oder durchgelassenen Strahlen bedingt. Die Körperfarben sind Mischfarben, deren Bestandteile das Auge in der natürlichen Farbe nicht zu erkennen vermag.

Ein durchsichtiger Körper erscheint uns im Tageslichte **farbig,** *wenn er nur gewisse Strahlengattungen,* **farblos,** *wenn er alle farbigen Bestandteile des Lichtes in gleichem Verhältnisse durchläfst.*

Ein undurchsichtiger Körper erscheint **weifs,** *wenn er alle farbigen Bestandteile des Sonnenlichtes in gleichem Verhältnisse unregelmäfsig zurückwirft,* **farbig,** *wenn er nur gewisse Strahlengattungen zurückwirft,* **schwarz,** *wenn gar keine Strahlen zurückgeworfen, also alle Strahlen von ihm absorbiert werden.*

Grau ist ein lichtschwaches Weifs; es entsteht, wenn der Körper von allen Strahlen des Sonnenlichtes in demselben Verhältnis eine gröfsere Menge absorbiert.

Betrachten wir farbige Körper in verschiedenem Lichte, so zeigt sich die überraschende Erscheinung, dafs die Farben der Körper sich mit dem Lichte ändern. Im gewöhnlichen Lampenlichte z. B. sieht Gelb beinahe wie Weifs aus, Blau wird darin leicht mit Grün verwechselt. Pflanzenblätter erscheinen bei bengalischer Beleuchtung in rotem Lichte beinahe schwarz, in gelbem grau, in grünem wieder grün u. s. w.

***Versuch.** Im vollständig dunklen Zimmer erscheinen die Farben einer Spektraltafel, bunter Bilder, Blumen oder dergl., wenn sie durch eine mit Kochsalzlösung gefärbte Weingeistflamme beleuchtet werden, mehr oder weniger grau; nur die gelbe Farbe verändert sich nicht u. s. w.

Ein Körper kann nur dann in seiner natürlichen Farbe erscheinen, wenn das ihn treffende Licht Strahlen dieser Farbe enthält. Im einfarbigen Lichte verschwinden alle Farbenunterschiede der Körper.

Die tägliche Erfahrung lehrt, dafs dunkle Körper sich im Sonnenlichte stärker erwärmen als helle. (Beispiele!) Da bei solcher Erwärmung Licht durch Absorption verschwindet, so liegt der Gedanke nahe, dafs aus dem vernichteten Lichte Wärme entstanden sein könne. Genaue Versuche lassen schliefsen, dafs überall, wo Licht von einem Körper verschluckt wird, eine Verwandlung des absorbierten Lichtes und zwar in den meisten Fällen eine Verwandlung des Lichtes in Wärme stattfindet (vgl. § 146).

Fluorescenz und Phosphorescenz. Gewisse Körper vermögen Licht, das in sie eingedrungen ist, wieder auszustrahlen und zwar manche nur so lange, als die Bestrahlung andauert, andere auch noch nach der Bestrahlung. Zu ersteren gehören insbesondere verschiedene durchsichtige Flüssigkeiten. Petroleum z. B. strahlt im Sonnenlichte ein bläuliches Licht aus, desgl. Wasser, in welchem Rinde von Rofskastanien eine Zeitlang gelegen hat. Wirft man zerkleinerte Pflanzenblätter in Weingeist, so nimmt man in der nach einiger Zeit grün gefärbten Flüssigkeit beim Einfallen von Sonnenstrahlen (Strahlenkegel mittelst Linse) einen

blutroten Schimmer wahr. Das gelbliche Uranglas schimmert bei der gewöhnlichen Tagesbeleuchtung hellgrün, Flufsspat blau u. s. w. Diese Körper besitzen die Eigenschaft, das in sie eingedrungene Licht zu verändern und erscheinen demnach im durchgehenden Licht in einer anderen Farbe. *Man bezeichnet diese Erscheinung als Fluorescenz; sie findet nur während der Bestrahlung des Körpers statt.*

Körper, welche noch nach der Bestrahlung fortzuleuchten vermögen, sind z. B. die sogen. Leuchtsteine (Lichtsauger), die dadurch hergestellt werden, dafs man alkalische Erden (Kalk, Strontian oder Baryt) mit Schwefel glüht. Dieselben strahlen tagelang ein mattes Licht aus, wenn sie nur kurze Zeit dem Sonnenlichte ausgesetzt waren. Man verwendet sie zur Herstellung von leuchtenden Zifferblättern auf Taschenuhren, zu Feuerzeug-Behältern u. s. w. *Die Erscheinung des Selbstleuchtens eines Körpers nach der Bestrahlung wird Phosphorescenz genannt.*

Bem. Das Leuchten des Phosphors wird durch eine langsame Oxydation, also durch einen chemischen Vorgang hervorgerufen. Faulendes Holz phosphoresciert durch das leuchtende Wurzelgeflecht von Pilzen, welche darin wuchern, während das Leuchten des Meeres durch zahllose mikroskopische Organismen verursacht wird. — Die Fluorescenz hat ihren Namen von dem Mineral Flufsspat (Fluorcalcium), die Phosphorescenz vom Phosphor.

Übungsstoff. 1. Welche K. verhalten sich gegen den Schall ähnlich wie undurchsichtige K. gegen das Licht? — 2. Inwiefern kann man sagen, dafs wir an farbigen K. nur Reste vom Sonnenlichte erblicken? — 3. Vgl. die Entstehung der Körperfarben und Klangfarben miteinander. — 4. Einflufs auf das Spektrum des Sonnenlichtes, wenn man die Strahlen durch eine farbige Glasscheibe leitet, deren Farbe eine möglichst reine Spektralfarbe ist? — 5. In Wirklichkeit zeigt das Spektrum bei diesem Verfahren stets mehr oder weniger deutlich noch andere Farben; w.? — 6. Wie erklärt es sich, dafs die Farbenunterschiede in einfarbigem Lichte verschwinden? — 7. Gegen eine von farbigen Glasstreifen umgebene durchsichtige und farblose Glasscheibe scheine die Sonne. Welche Unterschiede werden sich dann zu erkennen geben, wenn man nach längerer Zeit die Hand dagegen hält? Erkl.! — 8. Was läfst sich daraus schliefsen, dafs eine farblose durchsichtige Glasscheibe ebenso wie ein weifser K. sich in der Sonne nach und nach erwärmt? — 9. Wird sich ein mattschwarzer oder ein polierter schwarzer K. in der Sonne schneller erwärmen, u. w.? — 10. Legt man rotes und grünes Glas aufeinander, so ist es fast ganz undurchsichtig; w.? — 11. Unterschied in der Lichtwirkung einer grauen und einer farbigen Schutzbrille? (Einflufs auf die Farbeneindrücke!) — 12. Wenn man einen gelben Farbstoff mit einem blauen mischt, so erhält man Grün. Inwiefern ist dies nach § 108 (Versuch e) auffällig, und wie erklärt sich die Abweichung? — 13. Vgl. die Fluorescenz und Phosphorescenz mit der Resonanz und dem Mitklingen.

§ 112. Reines Sonnenspektrum. Spektrum irdischer Körper. Spektralanalyse. Da das Sonnenlicht aus einer grofsen Anzahl verschiedenfarbiger Strahlen besteht, so mufs das Sonnenspektrum aus ebensovielen Bildern zusammengesetzt sein, von denen jedes seine besondere Farbe hat. Diese Sonnenbilder müssen um so mehr übereinander fallen, je gröfser sie sind und je geringer die Zerstreuung der farbigen Strahlen ist. Man erhält daher nicht die reinen Spektralfarben, wenn man ein Sonnenspektrum nach Anleitung von Fig. 406 darstellt; zu diesem Zwecke mufs man vielmehr ein **reines Spektrum** entwerfen, d. h. *ein solches, in welchem die einzelnen Farben nicht übereinander fallen.*

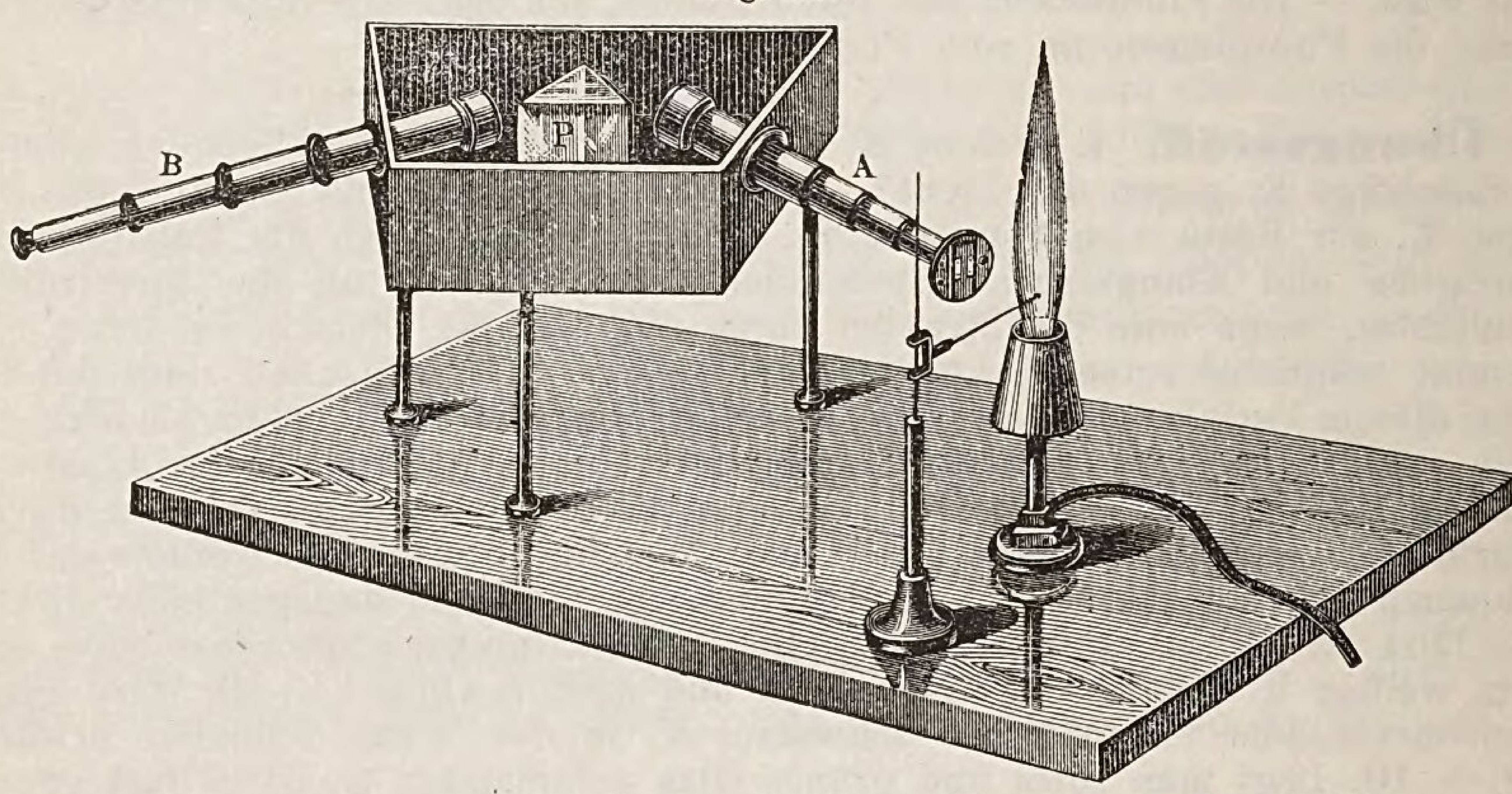
Versuch a. Um ein reines Spektrum zu entwerfen, läfst man die Sonnenstrahlen durch einen schmalen Spalt auf eine Sammellinse fallen,

welche vom Spalt um mehr als ihre Brennweite entfernt ist. Die durch die Linse konvergierend gemachten Strahlen werden durch ein mit seiner brechenden Kante parallel dem Spalt gestelltes Prisma so aufgefangen, dafs die Ablenkung am kleinsten ist. Das entstehende Spektrum enthält zahlreiche feine, dem Spalt parallele dunkle Linien, unter denen einige besonders hervortreten (siehe die Spektraltafel, auf welcher die deutlichsten Linien mit den Buchstaben A bis H bezeichnet sind).

Die Entdeckung, dafs das reine Sonnenspektrum dunkle Querlinien enthält, wurde 1802 von Wollaston gemacht, Fraunhofer bestimmte diese Linien genau (1814) und erkannte ihre Bedeutung für die Wissenschaft. Nach ihm werden dieselben **Fraunhofersche Linien** genannt.

Zur Untersuchung des Sonnenlichtes, sowie auch des Lichtes anderer Lichtquellen bedient man sich gewöhnlich eines sogen. **Spektralapparates** oder **Spektroskopes** (Fig. 417). Ein solcher Apparat besteht im wesentlichen aus einem oder

Fig. 417.



mehreren *Prismen*, einem *Spaltrohre* und einem *Fernrohre*. Das Prisma (P) ist in einem innen geschwärzten Kasten aufgestellt, in dessen Wandung an zwei einander gegenüberliegenden Stellen das Spaltrohr und das Fernrohr befestigt sind. Das Spaltrohr (A) ist vorn durch eine mit engem Spalt versehene Metallplatte, hinten durch eine Konvexlinse verschlossen, deren Brennpunkt mit dem Spalt zusammenfällt, sodafs die Strahlen, nachdem sie durch die Linse hindurchgegangen sind, eine parallele Richtung haben. — Durch das Fernrohr (B) wird das Spektrum in mäfsiger Vergröfserung betrachtet.

Zur Untersuchung des Lichtes glühender Körper stellt man vor dem Spalt eine nicht leuchtende Flamme (Bunsenbrenner) auf. Ein kleines Stativ dient zum Halten eines Platindrahtes, mit welchem man die zu erhitzenden Körper in die Flamme bringt.

Untersucht man mittelst des Spektroskopes das Licht irdischer Lichtquellen, so ergiebt sich folgendes:

a. Das Licht eines weifsglühenden festen oder flüssigen Körpers (etwa eines glühenden Platindrahtes) erzeugt ein **zusammenhängendes Spektrum,** das alle Farben des Sonnenspektrums enthält.

Das Licht weifsglühender Körper enthält alle Strahlengattungen.

Im Spektrum gelbglühender Körper, wie z. B. der glühenden Kohlenteilchen unserer Flammen, fehlt das blau-violette Ende fast ganz.

b. Das Licht glühender Gase oder Dämpfe erzeugt eine mehr oder minder grofse Anzahl durch dunkle Zwischenräume voneinander getrennter heller Linien oder Streifen: **Linien** oder **Streifenspektrum.**

In dem Lichte glühender Gase oder Dämpfe fehlen demnach gewisse Strahlengattungen.

Durch Natriumdämpfe z. B. entsteht eine sehr helle gelbe, durch Lithiumdämpfe eine deutliche rote und eine schwache orangefarbige Linie; das Spektrum der Kaliumdämpfe enthält eine rote und eine violette Linie (siehe die Spektraltafel). Wasserstoff zeigt eine rote und zwei blaue Linien. Das Spektrum des Sauerstoffes und des Stickstoffes ist aus einer gröfseren Anzahl farbiger Linien zusammengesetzt. Bei Dämpfen von schweren Metallen, z. B. Eisendämpfen, beläuft sich die Anzahl der farbigen Linien auf mehrere Hundert.

Da jeder Stoff im Spektrum bestimmte Linien giebt, welche stets an derselben Stelle erscheinen, so ist man imstande, aus dem Auftreten bestimmter Spektrallinien auf das Vorhandensein gewisser Stoffe zu schliefsen und zwar genügt eine verschwindend kleine Menge des betreffenden Stoffes zur Hervorbringung der charakteristischen Linien ($\frac{1}{3000000}$ mg Natrium oder $\frac{1}{100000}$ mg Lithium ist spektroskopisch noch nachweisbar). Man kann demnach die chemischen Bestandteile verbrennender Körper durch Untersuchung ihres Spektrums erforschen. Dieses von Bunsen und Kirchhoff (1860) erfundene Verfahren führt den Namen **Spektralanalyse.** Durch dasselbe sind verschiedene vorher unbekannte chemische Grundstoffe entdeckt worden, so von Bunsen selbst das Cäsium und Rubidium (siehe die Spektraltafel) und von anderen Forschern das Thallium, Indium und Gallium.

c. Leitet man das Licht eines weifsglühenden Körpers durch das Licht glühender Gase oder Dämpfe, so werden die Strahlen derjenigen Farben absorbiert, welche die Gase oder Dämpfe selbst besitzen. Dadurch entstehen dunkle Linien in dem sonst zusammenhängenden Spektrum an denselben Stellen, an denen durch das Gas oder den Dampf allein farbige Linien entstehen würden: *Umkehrung der Spektrallinien.* Ein derartiges Spektrum heifst **Absorptionsspektrum.**

Durch glühende Gase oder Dämpfe werden diejenigen Lichtstrahlen absorbiert, welche die Gase und Dämpfe selbst auszustrahlen vermögen.

Geht weifses Licht z. B. durch glühende Natriumdämpfe, so entsteht an Stelle der hellen Natriumlinie eine dunkle Linie; nach Entfernung des weifsen Lichtes erscheint diese Linie wieder farbig u. s. w.

Dafs bei der Umkehrung der Spektrallinien die sonst farbigen Linien dunkel erscheinen, hat nicht in einem vollständigen Fehlen des Lichtes, sondern nur in einem Mangel an Lichtstärke seinen Grund. Das Licht des glühenden Gases oder Dampfes nimmt nämlich durch den scheinbar ausgelöschten Teil des weifses Lichtes in Wirklichkeit an Stärke zu, ohne jedoch dadurch die Lichtstärke des weifsglühenden Körpers selbst zu erreichen. Die dunklen Linien sind demnach farbige Schatten einer schwachen Lichtquelle auf sehr hellem Grunde, welche unser Auge als solches nicht zu erkennen vermag (Kontrastwirkung). Verwandte Erscheinung: Schatten einer Kerzenflamme auf weifser Wand in direktem Sonnenlichte.

Absorptionsspektralanalyse. Wenn beim Durchgange von allfarbigem Lichte durch feste oder flüssige Körper gewisse Strahlen absorbiert werden, so fehlen dieselben in dem Spektrum, welches also ebenfalls ein Absorptionsspektrum mit dunklen Absorptionsstreifen ist. Diese letzteren sind abhängig von der chemischen Beschaffenheit des absorbierenden Stoffes, welche demnach mittelst des Spektroskopes festgestellt werden kann (Untersuchung von Farbstoffen und Nahrungs-

mitteln; Nachweis geringer Mengen von Blut durch die dem Blut eigentümlichen Absorptionsstreifen, Anwendung dieser Methode in der gerichtlichen Medizin).

Anwendung der Spektralanalyse auf die Himmelskörper. Bedeutung der Fraunhoferschen Linien. Da nach den sorgfältigsten Beobachtungen gewisse dunkle Linien im Sonnenspektrum genau an denselben Stellen liegen, an denen im Spektrum weifsglühender Körper, wenn man das Licht derselben durch bestimmte Gase oder Dämpfe leitet, dunkle Linien entstehen, so ist man zu dem Schlusse gelangt, dafs auch das Licht der Sonne durch glühende gasförmige Stoffe hindurchgeht und auf diesem Wege einen Teil seiner Strahlen durch Absorption verliert. Hieraus haben sich folgende Schlüsse über die Beschaffenheit des Sonnenkörpers ergeben:

Die **Sonne** *ist ein in Weifsglut befindlicher Himmelskörper, der von einer aus glühenden Gasen und Dämpfen bestehenden Atmosphäre umgeben ist. — Die* **Fraunhoferschen Linien** *des Sonnenspektrums sind die Absorptionslinien der Gase und Dämpfe.*

Nach den spektroskopischen Untersuchungen besteht die Sonnen-Atmosphäre hauptsächlich aus brennendem Wasserstoff und aus glühenden Dämpfen von Eisen und verschiedenen anderen Metallen (Natrium, Magnesium). Bei totalen Sonnenfinsternissen erscheint sie als schwach leuchtender Ring, in welchen rötlich gefärbte, wolkenartige Gebilde (Protuberanzen) hineinragen, deren Form und Gröfse häufig wechselt. Durch direkte Beobachtung der mit Hilfe besonderer Spektroskope täglich wahrnehmbaren Protuberanzen und der durch dieselben entstehenden farbigen Spektrallinie ist die Richtigkeit der obigen Annahme bestätigt worden.

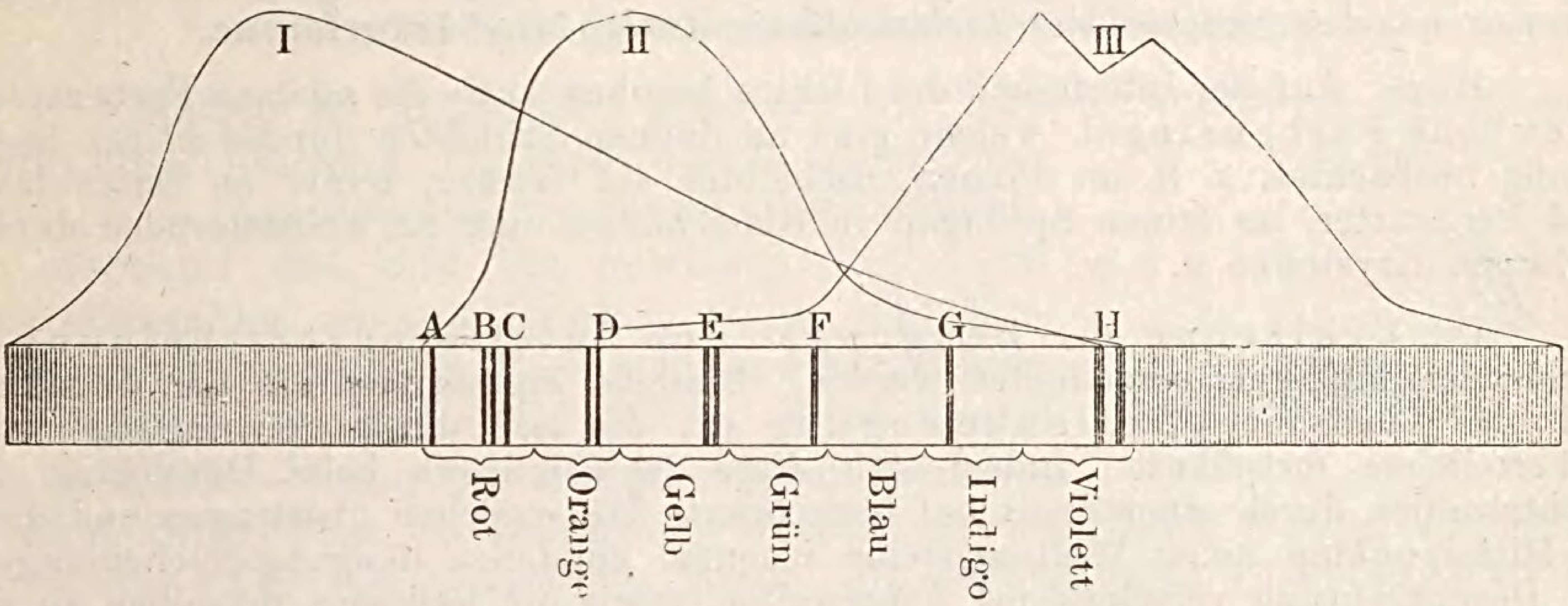
Die **Fixsterne** haben ein dem Sonnenspektrum ähnliches Spektrum, sind also auch von derselben physikalischen Beschaffenheit, wie die Sonne. Das Spektrum der **Planeten** ist dem der Sonne gleich (Absorptionsstreifen). Manche **Nebelflecke** zeigen ein aus hellen Linien bestehendes Spektrum, woraus geschlossen werden mufs, dafs sie sich nicht in Sterne auflösen lassen. Der Kern der **Kometen** zeigt ein Linienspektrum, der Schweif das Spektrum des Sonnenlichtes.

Bem. Aus gewissen Verschiebungen der Spektrallinien läfst sich (nach dem Dopplerschen Princip, § 92) auf eine Annäherung oder Entfernung der Lichtquelle schliefsen und auf diese Weise die Bewegung und Geschwindigkeit der Fixsterne berechnen.

Übungsstoff. 1. Wenn man bei der Erzeugung des Sonnenspektrums die Strahlen durch eine kreisförmige Öffnung eintreten läfst und den Schirm mehr und mehr dem Prisma nähert, so erhält man schliefslich einen Lichtstreifen, welcher in der Mitte weifs und nur an den Enden farbig ist. Erkl.! — 2. Welchen Einflufs mufs die Vergröfserung dieses Abstandes a. auf die Reinheit, b. auf die Lichtstärke des Spektrums ausüben? — 3. Warum mufs beim Spektroskope der Spalt um die Brennweite von der Linse entfernt sein? — 4. Vgl. W. und Schwefelkohlenstoff hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit als lichtbrechende Substanz zu spektroskopischen Untersuchungen. — 5. Wie läfst sich durch gleichzeitige Anwendung mehrerer Prismen erreichen, dafs die Spektrallinien weiter auseinanderfallen? (Anordnung der Prismen!) — 6. Was für ein Spektrum mufs entstehen, wenn das Licht eines weifsglühenden Platindrahtes a. durch Natrium-, b. durch Lithium-, c. durch Kaliumdämpfe geht? Erkl.! — 7. Die Erdatmosphäre (Wasserdampf) absorbiert die ultravioletten Strahlen ziemlich stark. Welchen Einflufs mufs dies auf die Beschaffenheit des Sonnenspektrums ausüben, je nachdem die Beobachtung früh morgens, mittags oder spät nachmittags angestellt wird? — 8. Das Spektrum des Mondlichtes stimmt mit dem des Sonnenlichtes genau überein; w.? — 9. Angenommen, eine einzelne dunkle Linie oder eine Gruppe zusammengehöriger dunkler Linien verschwände im Laufe der Zeit im Sonnenspektrum. Was würde man daraus schliefsen können? — 10. Durch das Spektroskop lassen sich in der Luft stets Spuren von Kochsalz nachweisen. Welche allgemeine Eigenschaft der K. tritt hierdurch auffällig hervor?

§ 113. Wirkungen farbiger Strahlen. Beugung und Interferenz. Die Betrachtung des Spektrums lehrt, dafs nicht alle Spektralfarben gleiche Leuchtkraft haben. *Am hellsten erscheint uns der gelbe, am dunkelsten der violette Teil desselben.* Linie II, Fig. 418,

Fig. 418.



giebt die Gröfse der **leuchtenden Kraft** der einzelnen Strahlengattungen an. In dem Mafse, wie diese Linie vom Spektrum auf- und absteigt, nimmt die leuchtende Kraft zu und ab.

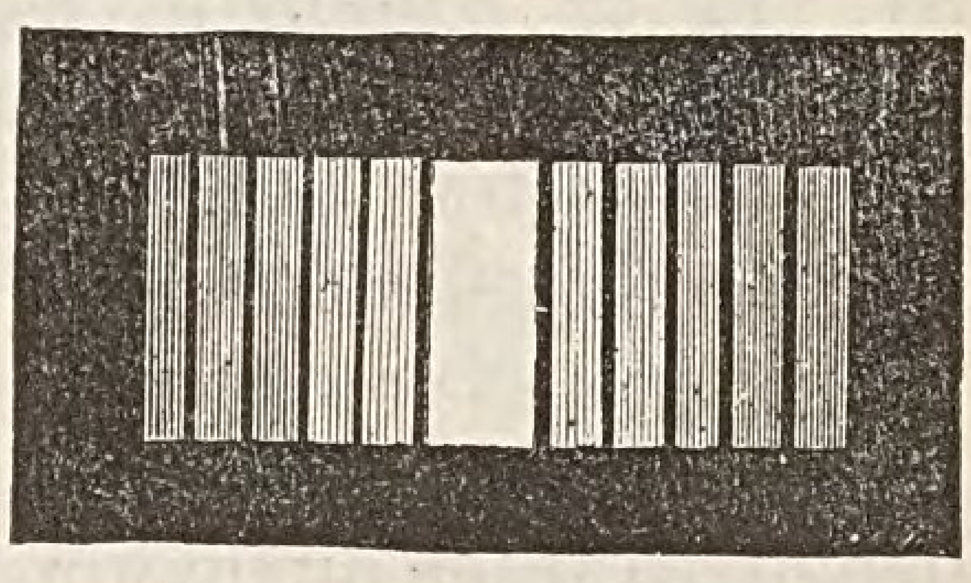
Wird ein sehr empfindliches Thermoskop oder Thermometer in die verschiedenen Teile des Spektrums gebracht, so ist wahrzunehmen, dafs die **Wärmewirkung** *vom Violett bis über das Rot hinaus allmählich zunimmt, also am gröfsten jenseits des roten Endes ist, wo das Auge keine Farbe mehr sieht, von da ab aber schnell wieder abnimmt* (Linie I).

Läfst man die durch das Prisma zerstreuten Strahlen im dunklen Zimmer auf photographisches Papier fallen, so giebt sich durch das Braunwerden des Papiers eine **chemische Wirkung** zu erkennen, *welche im Gelb beginnt und sich bis über das Violett hinaus fortsetzt; im Violett ist dieselbe am stärksten* (Linie III, *welche zugleich zeigt, dafs die chemischen Strahlen zwei Maxima haben*).

Auf der chemischen Wirkung des Lichtes beruht die Photographie (§ 105). Man pflegt die Strahlen, welche diese Wirkung hervorbringen, chemische Strahlen zu nennen, obgleich diejenige chemische Wirkung, welche in der Natur und zwar für das Pflanzenwachstum von hervorragendster Bedeutung ist, namentlich von den Strahlen ausgeht, welche die gröfste Leuchtkraft haben. Diese Wirkung besteht in der Bildung von organischer Substanz aus Kohlensäure und Wasser und vollzieht sich in den grünen Zellen der Pflanzen (Assimilation).

Beugung und Interferenz. Lichterscheinungen besonderer Art zeigen sich, wenn man die Sonne oder ein sehr helles Licht durch ein möglichst feines Gitter von gewebtem Zeug oder durch den Bart einer Vogelfeder betrachtet. Diese Erscheinungen kennzeichnen sich dadurch, dafs in verschiedener Anordnung zahlreiche Spektren entstehen, in denen dunkle mit hellen Linien abwechseln. Fig. 419 zeigt eine derartige Erscheinung, dadurch hervorgerufen, dafs man durch zwei in einiger Entfernung voneinander befindliche enge Spalte Licht in ein dunkles Zimmer fallen läfst. Ohne Anwendung eines Prismas entsteht auf einem dem Spalte gegenüber befindlichen weifsen Schirm ein heller Streifen, welcher breiter ist, als er nach der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes sein dürfte. Zu beiden Seiten des Licht-

Fig. 419.



streifens wechseln bei Anwendung von einfarbigem Lichte Streifen von geringerer Helligkeit und dunkle Streifen miteinander ab, während weifses Licht (Sonnenlicht) jederseits eine Reihe farbiger Spektren erzeugt, deren Lichtstärke mit der Entfernung vom mittleren Streifen schnell abnimmt.

Die Erscheinung, dafs Licht an den Rändern eines undurchsichtigen Körpers eine Ablenkung erleidet, wird **Beugung** *genannt; die Verdunkelung, welche durch das Zusammenwirken verschiedener Lichtstrahlen entsteht, heifst* **Interferenz.**

Bem. Auf der Interferenz des Lichtes beruhen auch die schönen Farbenspiele (Newtons Farbenringe), welche man an dünnen Schichten durchsichtiger Stoffe häufig beobachtet, z. B. an dünnen Ölschichten auf Wasser, ferner an Seifenblasen und Perlmutter, an feinen Sprüngen in Glasscheiben und an abblätternden durchsichtigen Krystallen u. s. w.

Die Erklärung der Beugungs- und Interferenzerscheinungen kann hier nur kurz angedeutet werden. Dieselbe ergiebt sich aus der Annahme, dafs das Licht eine Wellenbewegung ist, die sich durch Schwingungen der Ätherteilchen fortpflanzt. Indem sich diese Schwingungen beim Durchgang der Lichtstrahlen durch einen Spalt auf benachbarte Ätherteilchen übertragen und diese zu Mittelpunkten neuer Wellensysteme machen, entstehen Beugungserscheinungen; die Durchkreuzung verschiedener Ätherwellen, sowie die Reflexion derselben an der vorderen und hinteren Grenzfläche einer dünnen Schicht eines durchsichtigen Körpers bringt Interferenzerscheinungen hervor (vergl. § 146).

Übungsstoff. 1. Inwiefern kann man sagen, dafs das menschliche Auge nur für die Wahrnehmung gewisser im Sonnenlichte enthaltenen Strahlen eingerichtet ist? — 2. Wie erklärt es sich, dafs blühende Rapsfelder auf weit gröfsere Entfernung hin leuchten als andere Felder? — 3. Wie mufs in einem photographierten Sonnenspektrum Hell und Dunkel verteilt sein? — 4. Rote und gelbe Kleidungsstücke werden beim Photographieren fast immer dunkel, blaue und violette dagegen hell; w.? — 5. Wie müssen glanzlose grüne Blätter auf Photographien aussehen? (Photographien von Landschaften.) — 6. Warum läfst sich die photographische Wirkung der Körperfarben nach dem Spektrum nicht sicher beurteilen? — 7. Bei welcher Farbe ist nach Fig. 418 sowohl die Licht- als auch die Wärmewirkung ziemlich grofs? — 8. Bei welchen Farben sind diese Wirkungen sehr gering? — 9. Warum dürfen die Fensterscheiben in dem Raume, in welchem der Photograph die Platte präpariert, nicht aus gewöhnlichem Glase bestehen? — 10. Angenommen, man legte schmale Streifen von scheinbar einfarbigen Zeugstoffen auf eine schwarze Unterlage und betrachtete dieselben durch ein Prisma. Wie liefse sich dadurch die photographische Wirkung der Farben annähernd ermitteln? — 11. Wie ist es zu erklären, dafs verschiedene lichtschwache Planeten und Nebelflecke mittelst der Photographie überhaupt erst entdeckt worden sind?

E. Polarisation und Doppelbrechung.

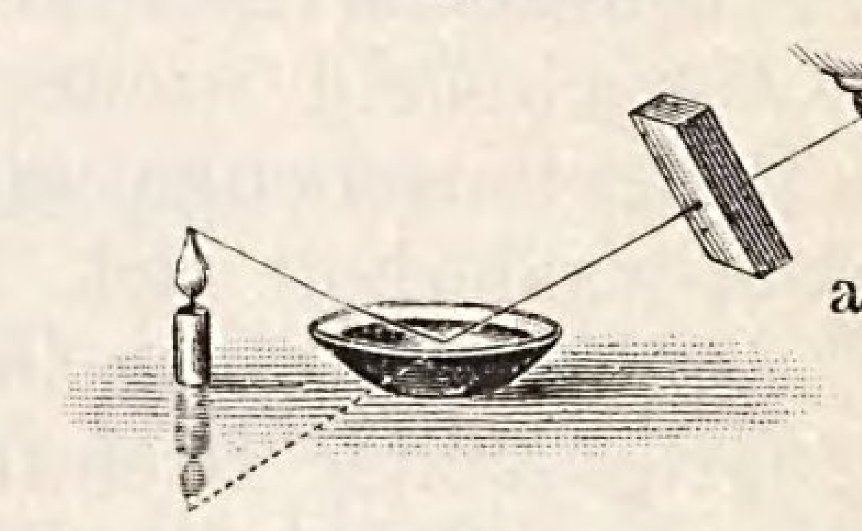
§ 114. Die Veränderungen, welche Lichtstrahlen durch die von ihnen getroffenen Körper erleiden, sind im wesentlichen folgende: 1. eine *Richtungsänderung* (Zurückwerfung und Brechung), wobei je nach der Art dieser Änderung und nach der Beschaffenheit des Lichtes eine Zerlegung desselben in seine elementaren Bestandteile (Farbenzerstreuung) eintreten kann; 2. eine *Umwandlung in Wärme,* wenn der vom Lichte getroffene Körper die eingedrungenen Strahlen ganz oder teilweise auslöscht (Absorption). — Die Zurückwerfung und Brechung der Lichtstrahlen erfolgt nach den früher erläuterten Gesetzen, denen die gewöhnlichen Strahlen ausnahmslos unterworfen sind. Unter Umständen kann jedoch Licht durch einmalige Reflexion oder Brechung besondere Eigenschaften

erhalten, derart z. B., dafs es sich bei einer zweiten Reflexion anders verhält wie gewöhnliches Licht. Man nennt solches Licht *polarisiert*, und bezeichnet die *Polarisation* desselben als vollkommen oder unvollkommen, je nachdem es diese besonderen Eigenschaften in höherem oder geringerem Grade angenommen hat.

Polarisation durch Reflexion und Brechung.

Versuch a. Betrachtet man ein im Wasser sichtbares Spiegelbild (Bild einer Flamme, Fig. 420) durch einen Glassatz (12—15 aufeinanderliegende Glasscheiben), so erscheint das Bild bei gewissen Stellungen des Glassatzes ausgelöscht, wenn der Einfallswinkel der auf das Wasser fallenden Strahlen eine bestimmte Gröfse hat (53°). Wird darauf durch Verschiebung der Flamme jener Einfallswinkel vergröfsert, so nimmt die Helligkeit des Bildes wieder zu, wenn auch die Lage des Glassatzes gegen die reflektierten Strahlen dieselbe bleibt. — In ähnlicher Weise wirken auch andere (nicht metallische) spiegelnde Flächen.

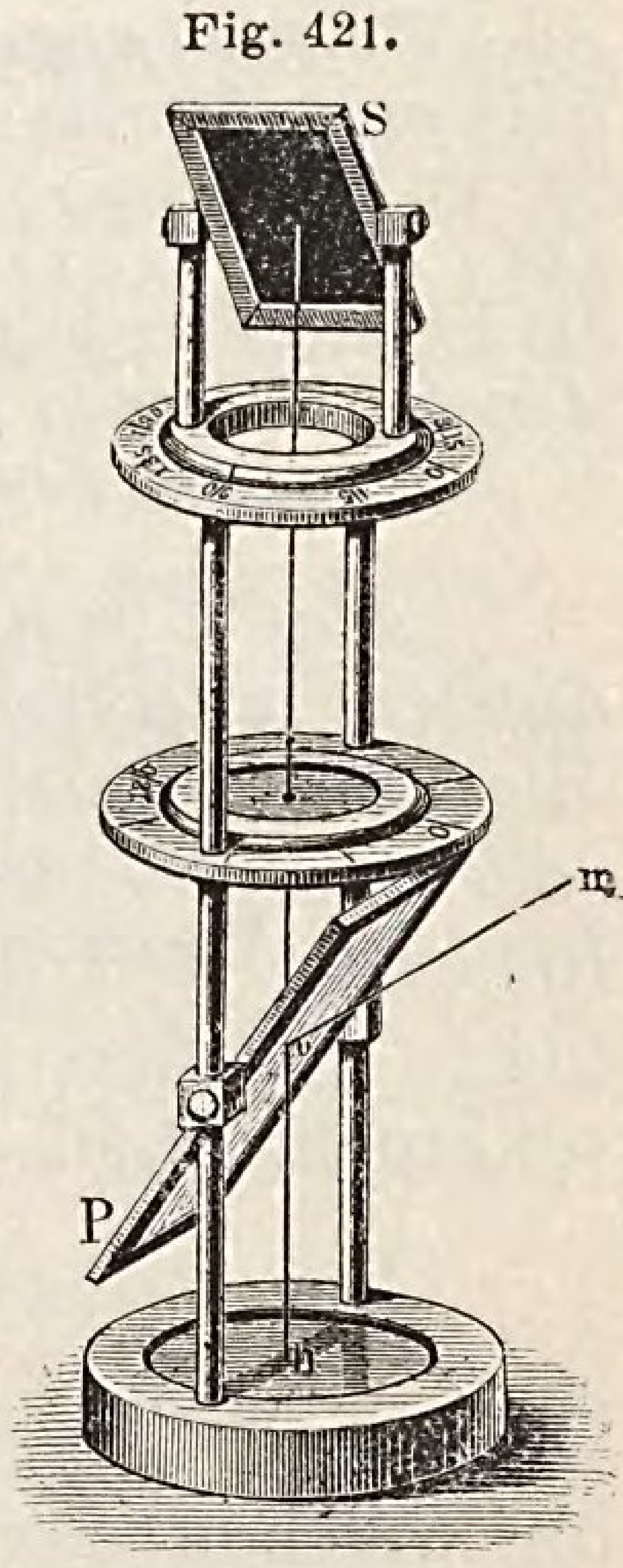
Fig. 420.



Hieraus folgt, dafs *reflektiertes* Licht unter gewissen Bedingungen durch einen durchsichtigen Körper nicht hindurchgeht. Eine solche Eigentümlichkeit des Lichtes kann auch durch *Brechung* und *Absorption* hervorgerufen werden.

Versuch b. Dünne Platten von Turmalin, einem Mineral von bräunlich-grüner Färbung, sind hierzu besonders geeignet. Läfst man Licht durch eine Turmalinplatte gehen, so nimmt es infolge der stattfindenden Absorption die Farbe des Krystalles an, zeigt aber im übrigen zunächst keine weitere Veränderung. Wenn man aber zwei Turmalinplatten aufeinander legt und die eine derselben über der anderen dreht, so wird das Licht bei bestimmter Stellung ganz hindurchgelassen und bei anderer Stellung ausgelöscht. Die beiden Stellungen, bei welchen die gröfste Helligkeit und Dunkelheit miteinander wechseln, werden durch Drehung der Platte um 90° erhalten. Der Lichtstrahl wird beim Durchgang durch die erste Platte polarisiert und von der zweiten Platte nur dann durchgelassen, wenn ihre Krystallachse mit der der ersten parallel ist.

Fig. 421.



Jede Vorrichtung, welche dazu dient, das Licht zu polarisieren, kann auch dazu benutzt werden, durchsichtige Gegenstände im polarisierten Licht zu untersuchen. Eine sehr zweckmäfsige Form eines solchen Apparates zeigt Fig. 421: den **Polarisationsapparat von Nörremberg.** Die wesentlichsten Teile desselben sind die Spiegelglasplatte P, welche den Lichtstrahl durch Reflexion polarisiert *(Polarisator)*, und der aus schwarzem Glas bestehende Spiegel S, welcher den polarisierten Strahl nach der Reflexion vom Spiegel n abermals reflektiert und dadurch zerlegt *(Analysator)*.

Versuch c. Läfst man auf die Glasplatte P unter einem Einfallswinkel von annähernd 55° (genau 54° 35′) Licht von einer Kerzenflamme fallen, so ist das Bild

der Flamme im Spiegel S deutlich sichtbar, wenn Spiegel und Glasplatte parallel sind, die Reflexionsebene (mon) der Platte und die des Spiegels S also zusammenfallen. Dreht man aber den Spiegel um die Richtung des einfallenden Strahles als Achse, sodafs der Einfallswinkel während der Drehung unverändert bleibt, so nimmt die Helligkeit des Gesichtsfeldes solange ab, bis die Reflexionsebenen beider Platten sich rechtwinklig kreuzen (siehe die Figur). In dieser Lage erscheint das Licht vom Spiegel ausgelöscht. Dreht man den Spiegel weiter, so wird das Gesichtsfeld wieder hell; es erreicht seine gröfste Helligkeit, wenn die Reflexionsebenen wieder zusammenfallen. Dieser Wechsel in der Helligkeit wiederholt sich, so oft man den Spiegel in derselben Richtung um 90° dreht. War das Gesichtsfeld ursprünglich hell, so wird es demnach bei fortgesetzter Drehung um 90°, 180°, 270° und 360° zunächst dunkel, darauf wieder hell, dann noch einmal dunkel und zuletzt wieder hell.

Licht läfst sich durch Reflexion und durch Brechung so verändern, dafs es sich nach verschiedenen Seiten verschieden verhält, also nicht mehr wie gewöhnliches Licht von einem Körper in jeder Lage desselben zurückgeworfen oder durchgelassen werden kann: **Polarisiertes Licht.**

Strahlen, welche durch Reflexion polarisiert sind, werden nach Versuch c vollständig zurückgeworfen, wenn die zweite Reflexionsebene mit der ersten zusammenfällt, hingegen vollständig ausgelöscht, wenn die beiden Reflexionsebenen eine rechtwinklig gekreuzte Stellung gegeneinander einnehmen. Ist der Einfallswinkel gröfser oder kleiner, so findet nur eine unvollständige Auslöschung der Strahlen statt. Die Strahlen werden im ersteren Falle vollständig, im letzteren unvollständig polarisiert.

Die Erklärung der Polarisationserscheinungen geht wie die der Beugungs- und Interferenzerscheinungen von der Annahme aus, dafs das Licht eine Wellenbewegung ist. Mit Hilfe der Polarisationserscheinungen läfst sich der Nachweis führen, dafs die Schwingungen, welche den Lichtstrahl fortpflanzen, rechtwinklig zur Richtung desselben erfolgen und also Transversalwellen sind. Bei einem gewöhnlichen Lichtstrahl erfolgen die Ätherschwingungen in allen Ebenen, die auf der Fortpflanzungsrichtung senkrecht stehen; bei einem polarisierten Strahl nur in einer Ebene, da die Schwingungen in den anderen Ebenen eben durch die Polarisation aufgehoben werden (vergl. § 146).

Die Ebene, in welcher ein polarisierter Lichtstrahl am vollständigsten reflektiert wird, heifst die **Polarisationsebene** *des Strahles, der Winkel, unter welchem Lichtstrahlen auffallen müssen, damit eine vollständige Polarisation eintreten kann,* **Polarisationswinkel.** — Bei der Reflexion fällt die Polarisationsebene mit der Einfallsebene des gewöhnlichen Strahles zusammen, während sie bei der Brechung auf derselben senkrecht steht. — Durch genaue Versuche hat man gefunden:

Der Polarisationswinkel ist für verschiedene Stoffe verschieden; er wächst mit dem Brechungsexponenten und ist derjenige Winkel, für welchen der reflektierte Strahl auf dem gebrochenen senkrecht steht.

Der Polarisationswinkel beträgt für Wasser 53°, für Glas 55°, für Schwefelkohlenstoff 59°. — Wenn der von einem durchsichtigen Körper zurückgeworfene Strahl vollständig polarisiert ist, so erscheint der gebrochene nur unvollständig polarisiert und zwar in einer Ebene, welche auf der Brechungsebene senkrecht steht. Doch läfst sich die Polarisation durch wiederholte Brechung vervollständigen (Anwendung mehrerer Glasplatten, Fig. 420). — Das Tageslicht ist meist mehr oder weniger polarisiert, so z. B. das Licht des blauen Himmels (am stärksten 90° vom Sonnenstande entfernt) und das von Gewässern zurückgeworfene Licht. Auch das von glatten Gegenständen, wie z. B. von Tischen, Fenstern u. s. w. zurückgeworfene Licht ist teilweise polarisiert. Das Licht weifser, mäfsig erleuchteter Wolken ist dagegen nicht polarisiert. Durch Metallspiegel wird das Licht nur sehr unvollständig polarisiert.

Polarisation durch Doppelbrechung.

Das beste Mittel zur Polarisierung des Lichtes bietet die **Doppelbrechung.** Alle durchsichtigen Krystalle, welche nicht dem regulären Krystallsystem angehören, z. B. der Kalkspat, haben die Eigenschaft, Lichtstrahlen, welche durch sie hindurchgehen, im allgemeinen in zwei Strahlen zu spalten, sodafs die durch sie betrachteten Gegenstände doppelt erscheinen (Fig. 422). Beide Strahlen sind vollständig polarisiert. Bei jedem derartigen Krystalle giebt es wenigstens eine Richtung, in der eine solche Spaltung der Strahlen nicht eintritt: beim Kalkspat in der Richtung seiner Hauptachse (Gerade, welche die beiden Ecken verbindet, in denen 3 stumpfe Winkel zusammenstofsen). Jede solche Richtung wird optische Achse genannt. Gegenstände, welche in dieser Richtung durch den Krystall betrachtet werden, erscheinen einfach.

Fig. 422.



Für den praktischen Gebrauch eignen sich besonders die schönen Krystalle des sogen. isländischen Doppelspates, welche man paarweise so zu einem Prisma zusammensetzt, dafs sie nur einen der beiden polarisierten Lichtstrahlen durchlassen (Nicolsches Prisma). Bei Untersuchungen des polarisierten Lichtes wird ein solches Prisma als polarisierende, ein anderes als analysierende Vorrichtung anstatt des Spiegels S in Fig. 421) angewandt.

Chromatische Polarisation. Drehung der Polarisationsebene. Wenn polarisches Licht durch dünne Blättchen von Glimmer-, Gips- oder anderen Krystallen hindurchgeht und durch eine analysierende Vorrichtung betrachtet wird, so erscheinen die an sich farblosen Krystalle mit prachtvollen Farbenringen, welche beim Drehen des Analysators in andere Farben übergehen. Man erklärt diese Farbenerscheinungen durch die Interferenz des polarisierten Lichtes. Dieselben sind nicht nur für die theoretischen Vorstellungen vom Wesen des Lichtes von grofser Bedeutung, sondern auch von unmittelbar praktischer Wichtigkeit. Es haben nämlich einige Krystalle (z. B. Quarze) und verschiedene Flüssigkeiten die merkwürdige Eigenschaft, die *Polarisationsebene zu drehen,* d. h. bei bestimmter Drehung des Analysators gewisse Farben zu erzeugen. Hierauf beruht die Anwendung der Polarisation zur Bestimmung des Zuckergehaltes der Rübensäfte. Die zu diesem Zwecke erfundenen Vorrichtungen heifsen **Saccharometer** (Zuckermesser) und beruhen im wesentlichen darauf, dafs polarisiertes Licht durch die in einer Glasröhre enthaltene Zuckerlösung hindurchgeht und durch einen Analysator betrachtet wird. Aus dem für eine gewisse Farbenerscheinung erforderlichen Drehungswinkel läfst sich der Zuckergehalt der Lösung unmittelbar bestimmen.

Übungsstoff. 1. Inwiefern hängt es von der Stellung des Beobachters ab, ob die in einem Gewässer am Ufer sichtbaren Spiegelbilder die in Versuch a angegebenen Erschn. zeigen? — 2. In welcher Weise läfst sich eine glänzend

schwarze Schultafel von demselben Standpunkte aus so betrachten, dafs sie ihren Glanz verliert und wieder erhält? — 3. Warum läfst sich an Körpern, welche das Licht unregelmäfsig zurückwerfen, bei einer derartigen Betrachtung ein Unterschied in der Helligkeit kaum wahrnehmen? — 4. Der Glanz eines Wasserspiegels erscheint, durch ein Nicolsches Prisma oder einen Glassatz betrachtet, bei der Drehung desselben abwechselnd matt und wieder heller, während die im W. befindlichen Gegenstände immer gleichdeutlich erscheinen. Erkl.! — 5. Bedeckt man ein bedrucktes Papierblatt mit einer Glasscheibe, so kann man die Schrift nicht lesen, wenn man sich so stellt, dafs das vom Glase reflektierte Licht ins Auge füllt. Dreht man aber eine Turmalinplatte vor dem Auge, so erscheint bei bestimmter Lage derselben die Schrift wieder ganz klar. W.? — 6. Wird ein Regenbogen an Schönheit verlieren, wenn man ihn durch ein Nicolsches Prisma betrachtet?

V. Abschnitt.

Die Lehre von der Wärme.

(I. Lehrstufe, §§ 30—36.)

A. Wirkungen der Wärme.

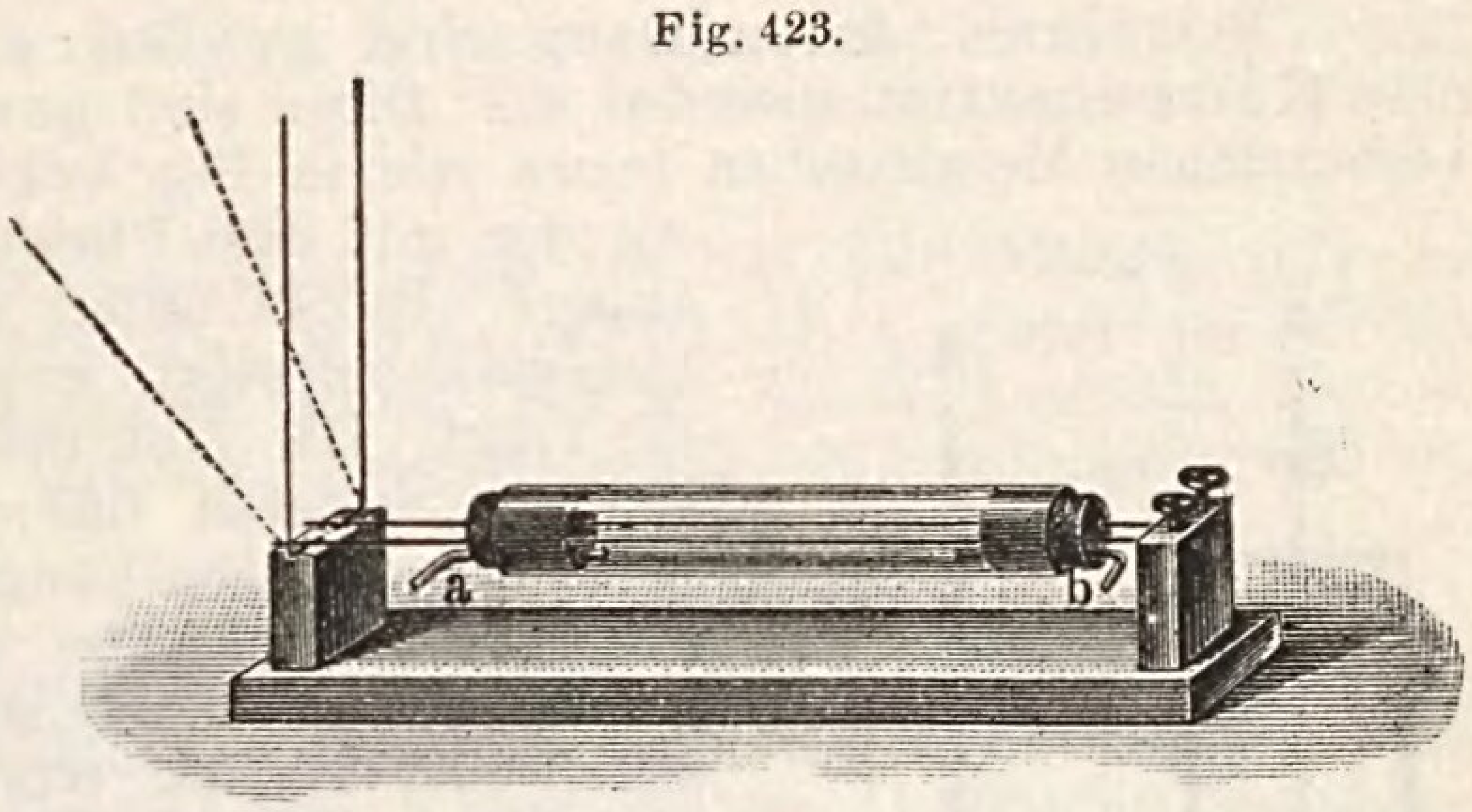
(Siehe §§ 30—33.)

§ 115. Ausdehnung durch Wärme. Der Ausdehnung der Körper wirkt im allgemeinen zweierlei entgegen: bei festen und flüssigen Körpern (von innen) die Kohäsion und bei allen Körpern (von aufsen) der Druck der atmosphärischen Luft. Hiernach wird es erklärlich, dafs sich am stärksten die luftförmigen Körper ausdehnen (§ 30) und die festen bei gleicher Temperaturerhöhung weniger stark als die Flüssigkeiten; inwiefern? — Da nun die flüssigen und festen Körper hinsichtlich der Kohäsion untereinander verschieden sind, so ist zu erwarten, dafs auch ihre Ausdehnung bei gleicher Erwärmung verschieden sein wird. Diese Unterschiede sind bei den festen Körpern im allgemeinen sehr gering (am gröfsten bei den Metallen), und es bedarf deshalb besonderer Vorrichtungen, um sie zur Anschauung zu bringen. Dies kann z. B. dadurch geschehen, dafs man Stäbe, welche an einem Ende befestigt sind und am anderen Ende auf einen hebelartigen Zeiger einwirken (sogen. Hebelpyrometer) zunächst durch schmelzendes Eis bis auf 0^0 abkühlt und darauf durch kochendes Wassser bis auf 100^0 C erhitzt. Zum Nachweis der ungleichen Ausdehnung läfst sich auch folgendes Verfahren anwenden:

Versuch. Ein Eisen- und ein Zink- oder Messingstab von 30—40 cm Länge und etwa 1 cm Dicke sind mit ihrem einen Ende nebeneinander in einem Klotze befestigt, während die freien Enden einem anderen Klotze fest aufliegen (Fig. 423, folg. Seite). Klemmt man dann unter jedes der beiden freien Enden den kurzen Schenkel eines dünnen, rechtwinklig umgebogenen Messing- oder Aluminiumdrahtes, sodafs dessen

langer Schenkel aufrecht gerichtet ist, so drehen sich bei Erhitzung der Stäbe beide Zeiger ungleichweit und zeigen dadurch die ungleiche Ausdehnung der Metalle an. Die Erhitzung kann entweder durch direkte Einwirkung der Flamme oder durch Dämpfe von siedendem Wasser geschehen, welche man durch eine beide Stäbe umgebende Glasröhre hindurchleitet. Derartige Versuche lehren:

Fig. 423.



Die **festen Körper** dehnen sich bei gleicher Temperaturerhöhung verschieden aus. Zwischen 0^0 und 100^0 ist die Ausdehnung eines festen Körpers im allgemeinen eine gleichmäfsige, d. h. sie steht in gleichem Verhältnis zur Zunahme der Temperatur.

Die Zahl, welche angiebt, um den wievielten Teil seiner Länge ein Körper bei der Erwärmung um 1^0 sich ausdehnt, heifst der (lineare) **Ausdehnungskoëfficient.**

Bezeichnet α den Ausdehnungskoëfficienten, l_0 die Länge eines Stabes bei 0^0 l die Länge desselben bei t^0, so ist $l = l_0 + l_0 \alpha t = l_0 (1 + \alpha t)$.

Lineare Ausdehnung einiger fester Körper.

Die Ausdehnung eines Stabes von 1 m Länge beträgt bei einer Temperaturerhöhung um 1^0 C für:

	mm	Ausdehn.-Koëff.		mm	Ausdehn.-Koëff.
Glas	0,008	0,000 008	Kupfer	0,017	0,000 017
Platin	0,009	0,000 009	Silber, Messing	0,019	0,000 019
Gufseisen	0,011	0,000 011	Blei	0,028	0,000 028
Stabeisen, Stahl	0,012	0,000 012	Zink	0,029	0,000 029

Die meisten festen Körper dehnen sich nach allen Richtungen gleichstark aus. Für diesen Fall ist die kubische Ausdehnung eines Würfels, dessen Kantenlänge bei $0^0 = 1$ und nach der Erwärmung um $1^0 = 1 + \alpha$ ist: $(1 + \alpha)^3 = 1 + 3\alpha + 3\alpha^2 + \alpha^3$, worin die beiden letzten Ausdrücke wegen ihrer aufserordentlich geringen Gröfse vernachlässigt werden können. Hiernach ist der *Koëfficient für die kubische Ausdehnung* $= 3\alpha$ oder *das Dreifache des linearen Ausdehnungskoëfficienten.*

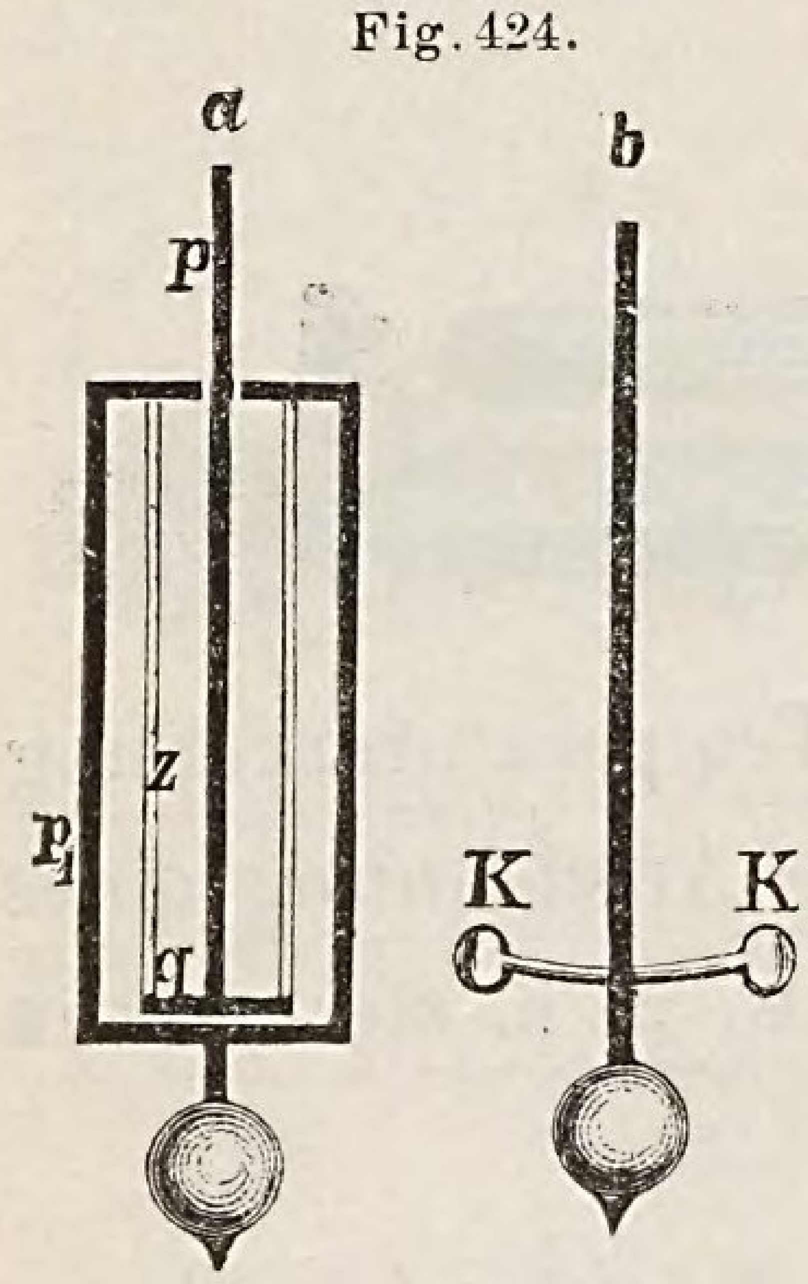
Bei Krystallen, welche nicht zum regulären System gehören, ist die Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen verschieden. — Feuchtes Holz, Thon u. dgl. schwinden bei der Erwärmung, ziehen sich mithin zusammen und machen scheinbar eine Ausnahme von dem Gesetze. Der Grund dieser Erscheinung liegt namentlich in dem Verdunsten des Wassers, das die Körper enthalten. Kautschuk dagegen zieht sich beim Erwärmen nachweisbar zusammen.

Die ausdehnende Wirkung der Wärme übt einen **Einflufs auf den Gang der Uhren** aus. Da nämlich ein Pendel um so langsamer schwingt, je länger es ist, so mufs jede Temperaturerhöhung, wenn nicht besondere Einrichtungen getroffen sind, ein Zurückbleiben, jede Temperaturerniedrigung ein Vorlaufen der Uhr zur Folge haben. Bei den sogen. Regulatoren wird diese Ungenauigkeit dadurch sehr beschränkt, dafs man zur Pendelstange nicht Metall, sondern eine

Holzart verwendet, welche durch Temperaturschwankungen wie durch Feuchtigkeitswechsel nur äufserst wenig beeinflufst wird (sehr trockenes, mit Öl getränktes Fichtenholz).

Bei Uhren, deren Gang eine gröfsere Genauigkeit erfordert, wendet man **Kompensationspendel** an. Diese sind gewöhnlich aus rostenartig miteinander verbundenen Metallstäben (etwa wie in Fig. 424a) zusammengesetzt (Rostpendel).

Fig. 424.



An der mit dem Uhrwerke verbundenen stählernen Pendelstange (P) ist unten statt der Pendelscheibe ein kurzer Querstab befestigt, welcher an jedem Ende einen Zinkstab (Z) trägt. Die Zinkstäbe tragen einen aus Stahlstäben zusammengesetzten Rahmen, an dessen unterem Querstabe die Pendelscheibe hängt. Durch die stärkere Ausdehnung der beiden Zinkstäbe wird der äufsere Rahmen mit der Pendelscheibe um ebensoviel gehoben, als die Pendelscheibe sich sonst senken würde. (Die Verlängerung von Z ist gleich der Summe der Verlängerungen von P und P_1.) — Bei dem in Fig. 424b dargestellten Kompensationspendel ist nahe über der Pendelscheibe auf der Pendelstange ein Querstäbchen befestigt, das aus zwei zusammengelöteten Metallstreifen besteht, die sich bei Erwärmung ungleichstark ausdehnen. Dadurch krümmt sich dieser Kompensationsstreifen und die an ihm befestigten Kugeln werden ein wenig gehoben. Auf diese Weise wird der Einflufs der Verlängerung wieder aufgehoben.

Derartige Kompensationsstreifen finden ferner Verwendung zur Herstellung von Metallthermometern (§ 117). Auf die Ausdehnung metallener Mafsstäbe durch die Wärme mufs bei sehr genauen Messungen Rücksicht genommen werden.

Bei **Flüssigkeiten** kann es sich nur um die kubische (körperliche) Ausdehnung handeln. Dieselbe läfst sich mit Hilfe eines offenen thermometerähnlichen Gefäfses bestimmen, indem man nach dem Steigen der Flüssigkeit in der Röhre die Gröfse der Ausdehnung berechnet, oder auch dadurch, dafs man die Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen in Mafsflaschen abwägt. In beiden Fällen ist die Ausdehnung des Glases mit zu berücksichtigen. Auf diese Weise hat man gefunden:

Die **Flüssigkeiten** dehnen sich verschieden und unregelmäfsig aus und zwar bei hohen Temperaturen viel stärker als bei niedrigen.

Bei Bestimmung des specifischen Gewichtes ist auf die Ausdehnung der Flüssigkeiten Rücksicht zu nehmen; inwiefern könnte die besonders starke Ausdehnung von Alkohol und Petroleum auch beim Verkauf dieser Flüssigkeiten in Betracht kommen?

Quecksilber dehnt sich zwischen 0^0 und 100^0 regelmäfsig aus; der Ausdehnungskoëfficient desselben ist $\frac{1}{5500}$. Bei genauen Barometerbeobachtungen mufs die Ausdehnung des Quecksilbers berücksichtigt werden.

Um die Ausdehnung der **Gase** zu bestimmen, benutzt man entweder ein offenes thermometerähnliches Gefäfs mit wagerechter Röhre, in der man die Luft durch einen Qu.-Tropfen absperrt *(Ausdehnung bei unverändertem äufseren Druck)*, oder man verbindet das Gefäfs mit einem U förmigen offenen Manometer und giefst nach der Ausdehnung des Gases soviel Qu. nach, dafs das Gas wieder denselben Raum einnimmt; es folgt dann, dafs sich das Gas ebensostark ausgedehnt haben würde, als die Spannkraft zugenommen hat *(Zunahme der Spannkraft bei unverändertem Volumen,* § 85), sodafs sich aus diesem Verhältnis die Gröfse der Ausdehnung berechnen läfst. Genaue Versuche lehren:

Alle **gasförmigen Körper** dehnen sich gleichmäfsig aus und zwar für jeden Grad Temperaturerhöhung um $\frac{1}{273} = 0{,}00367$ ihres Volumens, vorausgesetzt, dafs der äufsere Druck sich nicht ändert (Gesetz von Gay-Lussac).

Bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° vergröfsern demnach die Gase ihr Volumen um etwas mehr als $\frac{1}{3}$ (genau um 0,3665). Wird ein Gas bei unverändertem äufseren Drucke von 0° bis 273° erhitzt, so verdoppelt sich sein Rauminhalt; ist letzterer unveränderlich, so verdoppelt sich die Spannung des Gases.

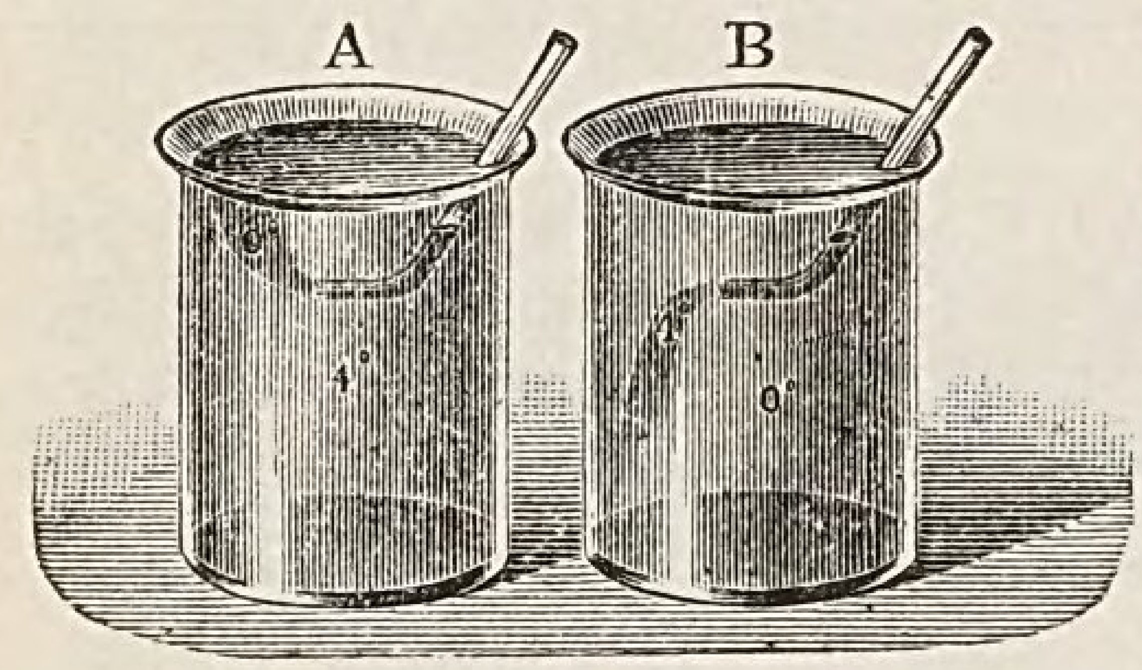
Übungsstoff. 1. Ein Metallstab sei aus zwei der Länge nach zusammengenieteten Stäben von Eisen und Messing zusammengesetzt; nach welcher Seite wird derselbe sich a. bei starker Erwärmung, b. bei starker Abkühlung krümmen, u. w.? — 2. In emaillierten Kochtöpfen springt der innere glasartige Überzug leicht ab, wenn die Töpfe leer aufs Feuer gestellt werden. Erkl.! — 3. Platindrähte lassen sich in Glas einschmelzen, ohne dafs letzteres beim Erkalten zerspringt, Drähte aus anderem Metall nicht. Grund! — 4. In einem mit kaltem W. gefüllten Kessel mufs das W. beim Erwärmen zunächst ein wenig sinken. Nachfolgende Ersch.? — 5. Bei Anfertigung von Fässern werden die Dauben auswendig angefeuchtet und innen erwärmt; w.? — 6. Versuche ein Rostpendel zu zeichnen, bei welchem die Pendelstange (P, Fig. 424) am oberen Querbalken des stählernen Rechtecks befestigt ist und die Zinkstäbe die umgekehrte Lage haben. — 7. Die Temp. einer Eisenbahnschiene von 4 m Länge betrage im Sommer 80° C mehr als im Winter. Um wv. ungefähr wird die Schiene innerhalb eines Jahres sich verlängern und verkürzen? (Man nehme an, die Schiene sei bei 0° 4 m lang und werde bis auf 80° C erwärmt.) — 8. Desgl. ein Telegraphendraht von 10 km Länge (Temp.-Unterschied = 50°). — 9. Warum wird bei der Füllung der Therm. Qu. anderen Flgkn. vorgezogen? — 10. Vgl. die Genauigkeit, mit welcher Luftherm. die Temp. anzeigen, mit derjenigen der Qu.-Therm. Gründe! — 11. Welchen Raum (ccm) nimmt ein Liter Qu. von 0° a. bei 100°, b. bei 50°, c. bei 20° C ein? — 12. Der Barometerstand sei 760 mm bei 20° C. Wie grofs würde derselbe demnach bei 0° (auf 0° reduziert) sein?

§ 116. Unregelmäfsige Ausdehnung des Wassers. Die bekannte Erscheinung, dafs stillstehendes Wasser zuerst nur an der Oberfläche sich mit Eis überzieht, macht es wahrscheinlich, dafs Wasser während seiner Abkühlung sich anders verhält als andere Flüssigkeiten. Kühlt sich nämlich Wasser von oben an dauernd ab, so müfste, wenn seine Dichtigkeit dabei stetig zunähme, offenbar bis zum Gefrieren ein Untersinken des kälter gewordenen Wassers erfolgen, wie umgekehrt ein Aufsteigen erfolgt, wenn Wasser von gewöhnlicher Temperatur in einem Gefäfse von unten erhitzt wird (§ 55). Das Wasser würde demnach auch in tieferen Schichten bis zum Gefrierpunkte erkalten und gleichmäfsig erstarren, wie sich z. B. Öl beim Gefrieren wirklich verhält. In welcher Weise sich die Dichtigkeit des Wassers bei Abkühlung und Erwärmung ändert, lehren folgende Versuche.

***Versuch a.** Wenn man mittelst einer knieförmig gebogenen Glasröhre gefärbtes Wasser von 0° so in reines Wasser von 4° C fliefsen läfst, dafs es in wagerechter Richtung einige cm unter dem Wasserspiegel langsam ausfliefst, so steigt das kältere Wasser in dem wärmeren auf (Fig. 425, folg. Seite). Läfst man in gleicher Weise gefärbtes Wasser von 4° in reines Wasser von 0° fliefsen, so sinkt es unter. — Was läfst sich hieraus schliefsen?

Versuch b.*) Ein grofses Becherglas fülle man zur Hälfte mit kaltem Wasser, auf welchem man bis nahe zum Rande Eisstücke schwimmen läfst. Über dem Glase befestigt man zwei in das Wasser eintauchende Thermometer so, dafs die Kugel des einen sich nahe am Boden, die des anderen an der Oberfläche des Wassers befindet. Läfst man das Glas nun einige Zeit in einem kalten Zimmer (etwa $+2^0$) ruhig stehen, so zeigt das untere Thermometer ziemlich genau 4^0, das obere 0^0.

Fig. 425.



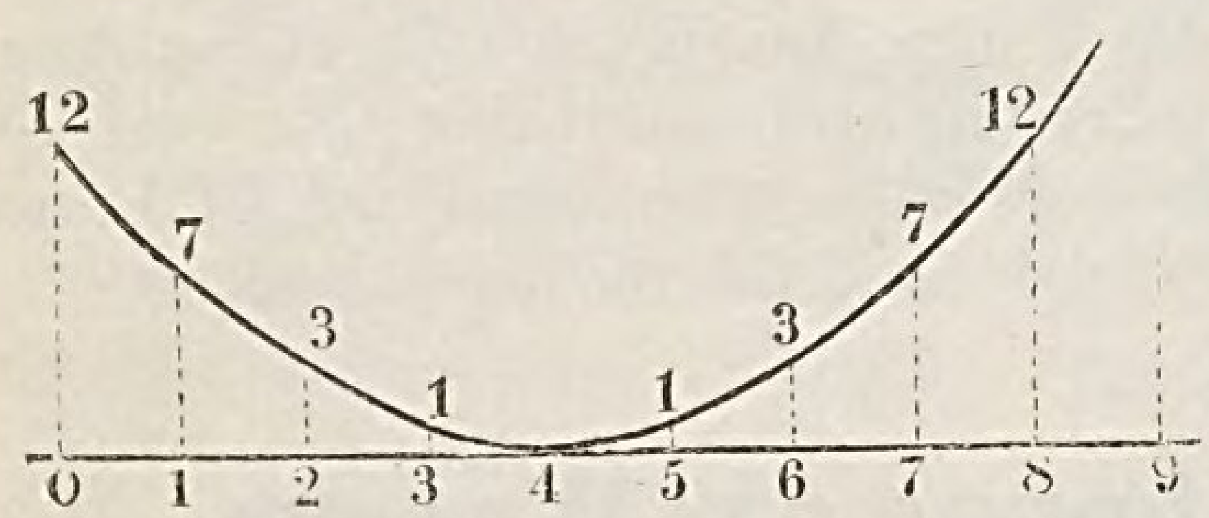
Versuch c. Wird eine kleine, thermometerartig eingerichtete und ganz mit Wasser von 0^0 gefüllte Kochflasche ganz allmählich erwärmt, so sinkt das Wasser in der Röhre zunächst etwas, darauf steigt es andauernd.

Wasser hat bei etwa $+4^0$ C. seine gröfste Dichtigkeit: **Dichtigkeitsmaximum des Wassers.**

Dieses Dichtigkeitsmaximum hat nur das Süfswasser. Meerwasser zieht sich bis zu seinem Gefrierpunkte (je nach dem Salzgehalt etwas veränderlich, etwa $-2{,}5^0$ C) stetig zusammen.

In Fig. 426 ist die eigentümliche Ausdehnung des Wassers durch eine Linie dargestellt. Die Senkrechten mit den darüber stehenden Zahlen geben an, um wieviel cbmm 100000 cbmm oder 0,1 Liter Wasser von 4^0 C sich bei weiterer Abkühlung oder Erwärmung ausdehnen. Die am Fufse der Senkrechten stehenden Zahlen geben die betreffenden Temperaturen an. Aus der Figur ist zugleich ersichtlich, dafs W. bei $+8^0$ C ziemlich genau dieselbe Dichte hat, wie bei 0^0.

Fig. 426.



D a s a b w e i c h e n d e V e r h a l t e n d e s W a s s e r s i s t i m *Haushalte der Natur* v o n g r o f s e r B e d e u t u n g, indem dadurch das Eindringen der Kälte in die tieferen Schichten der Gewässer verhindert und die Eisbildung wesentlich beschränkt wird.

Wenn nämlich die Gewässer bei Beginn des Winters sich von oben abkühlen, so sinken die kälteren Schichten des Wassers infolge ihrer gröfseren Dichtigkeit nach unten und wärmere treten von unten an ihre Stelle. Dies setzt sich solange fort, bis das ganze Wasser eine Temperatur von $+4^0$ C erreicht hat. Durch weitere Abkühlung dehnen sich die oberen Schichten wieder aus und können daher selbst beim Gefrieren nicht mehr untersinken. In *stehenden Gewässern von genügender Tiefe* behalten demnach die unteren Schichten bei dem geringen Leitungsvermögen des Wassers im Winter eine Temperatur von nahezu 4^0.

In *Flüssen* kann das bis auf 0^0 abgekühlte Wasser durch Strömungen nach unten gelangen und hier mit dem Grunde des Flufsbettes in Berührung kommen, sodafs die dort befindlichen festen Körper sich mit Eis überziehen (G r u n d e i s). Hat das Grundeis sich zu gröfseren Massen angesammelt, so reifst es sich durch den Auftrieb los. An der Oberfläche häufen sich solche Eisstücke oft so sehr, dafs sie untereinander und mit dem am Ufer entstandenen Eise zusammenfrieren, sodafs eine zusammenhängende Eisdecke entsteht. — Nach Tiefseeforschungen herrscht im *Meere* in einer Tiefe von ungefähr 700 bis 1000 m eine durchschnittliche Temperatur

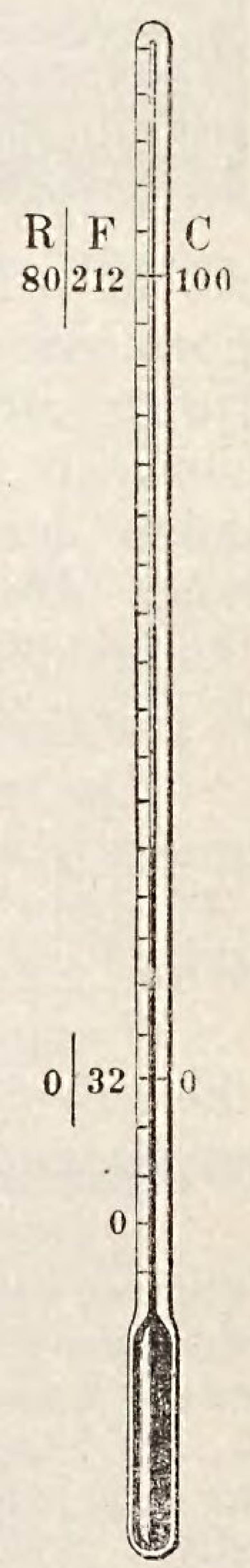
*) Nach W e i n h o l d s „Vorschule der Experimentalphysik."

von $+4^0$ C. Von da ab bis zum Grunde des Meeres ist die Temperatur in der heifsen und gemäfsigten Zone zwischen 0^0 und $+2^0$, während sie in den Polargegenden bis etwa $-2{,}5^0$ herabsinkt.

Übungsstoff. **1.** Was würde eintreten, wenn die bei Versuch c benutzte Flasche W. von gewöhnlicher Temp. enthielte und man tauchte sie dann schnell a. in kälteres, b. in wärmeres W.? Erkl.! — **2.** Aus dem Sinken des W. in der Röhre (Versuch c) kann nicht ohne weiteres geschlossen werden, dafs das W. sich zunächst zusammenzog, denn die Ersch. hätte auch eintreten können, wenn das W. sich weniger ausdehnte als Glas, oder seinen Rauminhalt gar nicht geändert hätte. Erkl.! — **3.** Bei gleichmäfsiger Erwärmung steigt das W. in der Röhre erst von 6^0 ab; bis dahin sinkt es. Erkl ! — **4.** Wie würde es zu erklären sein, wenn der Stand des W. sich von 4^0 bis 6^0 nicht änderte? — **5.** Ein Therm. enthalte W. statt Qu.; welche Ziffer würde dann auf demselben am tiefsten stehen müssen, wenn die Kugel des Therm. ihren Rauminhalt nicht änderte, u. w.? — **6.** Warum würde eine für Qu. bestimmte Teilung für W. nicht brauchbar sein, selbst wenn man das Dichtigkeitsmaximum berücksichtigte? — **7.** Warum kann Grundeis erst dann aufsteigen, wenn es sich in gröfserer Menge gebildet hat? — **8.** Warum kann auf kleinen Gewässern sich leichter eine Eisdecke bilden als auf grofsen?

§ 117. Thermometer. Da Veränderungen im Wärmezustande der Körper sich am leichtesten und sichersten nach den dadurch hervorgerufenen Veränderungen des Rauminhaltes beurteilen lassen, so dient diese Wirkung der Wärme, wie bereits früher hervorgehoben wurde, allgemein zur Bestimmung der Temperatur. Aufser den beiden in § 30 beschriebenen Thermometerskalen von Réaumur und Celsius ist noch die Skala von Fahrenheit zu erwähnen (Fig. 427), welche sich dadurch unterscheidet, dafs ihr Nullpunkt 32^0 unter dem natürlichen Gefrierpunkte liegt. Der Siedepunkt des Wassers ist auf dieser Skala mit 212 bezeichnet, sodafs der Temperaturabstand zwischen dem Gefrier- und dem Siedepunkte des Wassers 180^0 umfafst. Das Verhältnis der Anzahl der Grade dieser 3 Thermometerskalen ist demnach $80 : 100 : 180 = 4 : 5 : 9$.

Fig. 427.



Bei der Umrechnung der Grade nach F in Grade nach C oder R hat man hiernach zunächst zu beachten, wieviel Grad die Temperatur über oder unter dem Eispunkte liegt, und darauf die erhaltenen Grade mit $\frac{4}{9}$ oder $\frac{5}{9}$ zu multiplizieren, während man bei der Umrechnung der Grade nach C oder R in Grade nach F zunächst mit $\frac{9}{5}$ oder $\frac{9}{4}$ zu multiplizieren und dann zu berechnen hat, wieviel Grad die Temperatur über oder unter dem Nullpunkte des Fahrenheitschen Thermometers liegt.

Beispiele:

$+100^0$ F $= 100 - 32 = 68^0$ über d.E.-P., also $+\frac{5}{9} \cdot 68^0$ C oder $+\frac{4}{9} \cdot 68^0$ R.
$+10^0$ F $= 32 - 10 = 22^0$ unter d.E.-P., also $-\frac{5}{9} \cdot 22^0$ C oder $-\frac{4}{9} \cdot 22^0$ R.
-10^0 F $= 32 + 10 = 42^0$ unter d.E.-P., also $-\frac{5}{9} \cdot 42^0$ C oder $-\frac{4}{9} \cdot 42^0$ R.
$+20^0$ R $= \frac{9}{4} \cdot 20 = 45^0$ über d.E.-P., also $+45$ und $32 = +77^0$ F.
u. s. w.

Allgemein: $t^0 = \frac{5}{9}(t - 32)^0$ C oder auch $= \frac{4}{9}(t - 32)^0$ R.
$t^0 = \frac{4}{5} t^0$ R oder auch $= \frac{9}{5} t^0 + 32^0$ F.
$t^0 = \frac{5}{4} t^0$ C oder auch $= \frac{9}{4} t^0 + 32^0$ F.

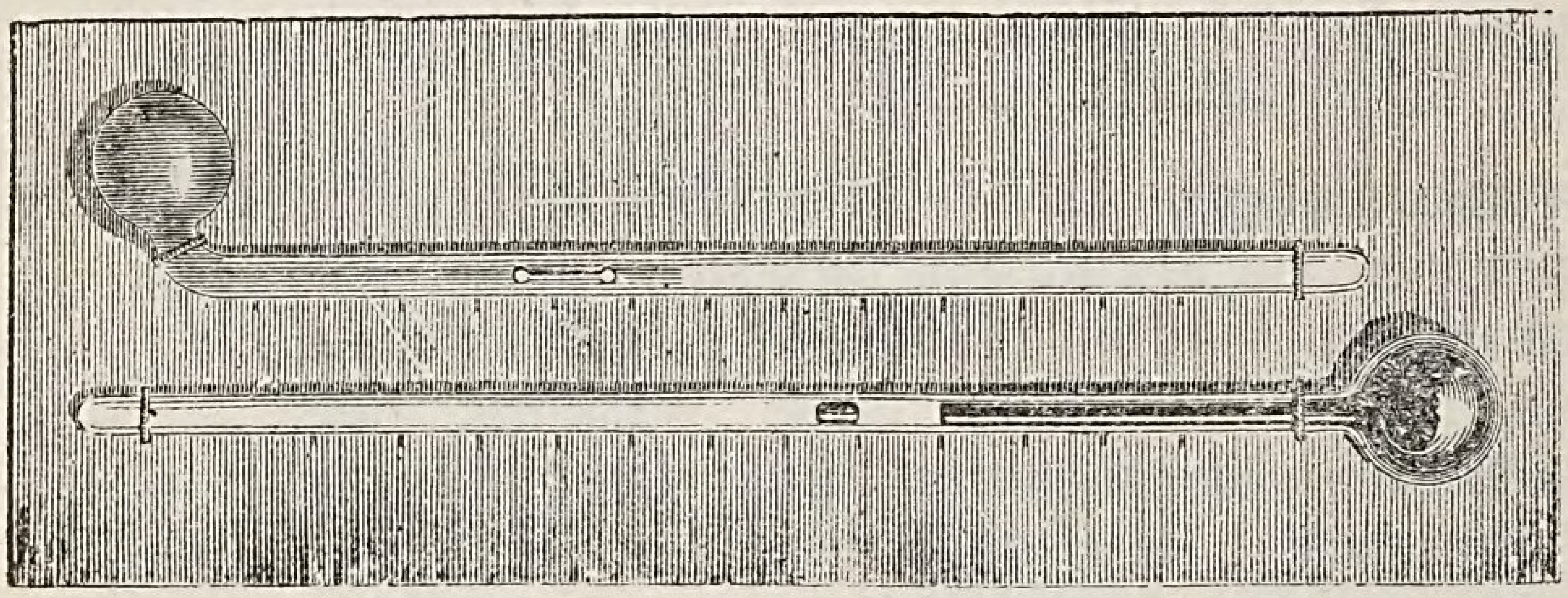
Thermometer mit der Skala nach Fahrenheit sind besonders in England und Nordamerika in Gebrauch.

Für die Beurteilung der Temperaturschwankungen, welche z. B. in der atm. Luft vorkommen, ist es häufig erwünscht, nicht nur die augenblickliche Temperatur, sondern auch die höchste und niedrigste Temperatur etwa eines Tages ermitteln zu können. Zu diesem Zwecke giebt man den Thermometern besondere Einrichtungen.

Thermometer, welche so eingerichtet sind, dafs sie die innerhalb eines Zeitraumes stattgefundene höchste oder tiefste Temperatur dann noch anzeigen, wenn die Temperatur sich bereits wieder geändert hat, werden Maximum- und Minimum-Thermometer genannt.

Fig. 428 stellt die bekannteste Einrichtung eines derartigen Instrumentes dar *(Thermometrograph von Rutherford)*. Das **Maximum-Thermometer** (oberes Therm.) zeigt die höchste stattgefundene Temperatur an. Vor dem Quecksilberfaden liegt ein Stahlstäbchen, das beim Steigen der Temperatur fortgeschoben wird, beim Sinken derselben liegen bleibt. — Das **Minimum-Thermometer** (unteres Therm.) giebt die niedrigste stattgefundene Temperatur an und enthält Weingeist statt Quecksilber. Im Flüssigkeitsfaden liegt ein Glasstäbchen, das beim Sinken der Temperatur infolge der Adhäsion mit zurückgeht, beim Steigen derselben liegen bleibt. Durch Neigen der Röhren bringt man die Stäbchen mit den Flüssigkeitsoberflächen in Berührung und stellt so das Thermometer für die jedesmalige Beobachtung ein.

Fig. 428



Da mit dem Gebrauch desselben manche Unzuträglichkeiten verbunden sind, so giebt man anderen Maximumthermometern den Vorzug, z. B dem sogen. *Sixthermometer*. Dasselbe besteht aus einer zweischenklig gebogenen Glasröhre, in der durch die Ausdehnung einer Mischung von Weingeist und anderen Flüssigkeiten und deren Dämpfen ein Quecksilberfaden und durch diesen zwei Stahlstäbchen verschoben werden, die das Maximum und Minimum angeben.

Thermometer, bei denen die Ausdehnung *fester* Körper zur Temperaturbestimmung dient, sind die **Metallthermometer**. Sie bestehen aus einem schmalen, schraubenförmig gewundenen Metallstreifen (Kompensationsstreifen), welcher seiner Länge nach aus 2 Metallen zusammengelötet ist. Da letztere sich ungleichstark ausdehnen, so ändern die Windungen des Streifens bei jeder Temperaturveränderung ihre Krümmung; dadurch wird ein Zeiger gedreht, welcher die Temperatur auf einer Kreisteilung angiebt.

Zum Nachweise sehr geringer Temperaturveränderungen läfst sich mit Vorteil ein **Differentialthermometer** anwenden (Fig. 429, folg. Seite). Es besteht bei der hier angegebenen Einrichtung aus einer doppelt U förmig gebogenen engen Glasröhre, deren Enden kugelig aufgeblasen sind, und welche eine

gefärbte Flüssigkeit (Alkohol) enthält. Eine der beiden Kugeln ist zur Anwendung bei Versuchen über strahlende Wärme (§ 125) mit Rufs geschwärzt.

Fig. 429.

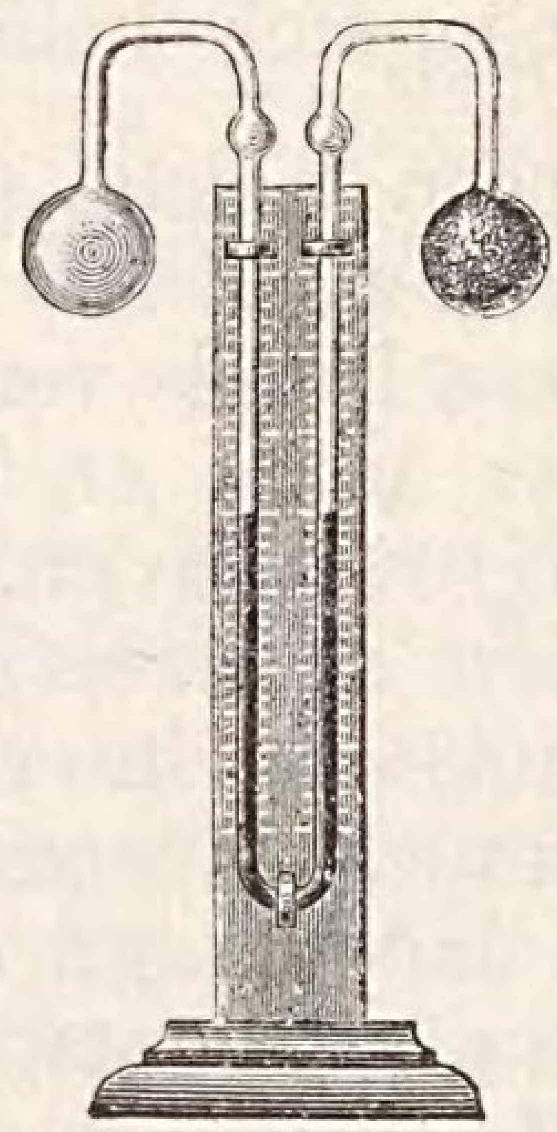
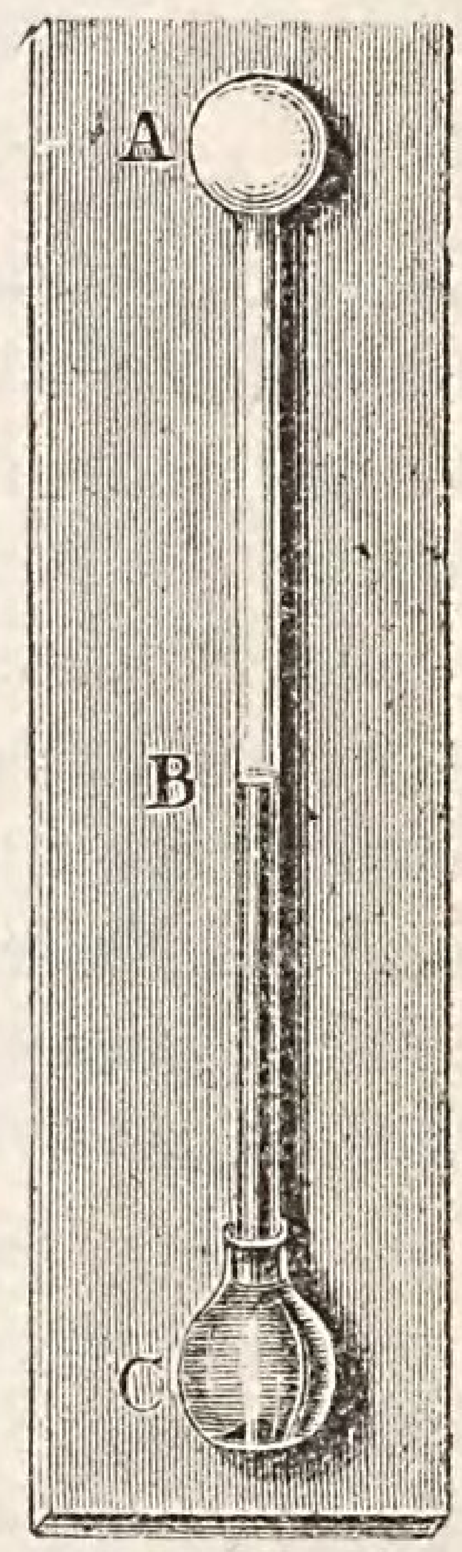


Fig. 430.



Dafs die Veränderungen des Rauminhaltes, welche die Körper durch Erwärmung und Abkühlung erleiden, ein sehr brauchbares Mittel zu Temperaturbestimmungen sind, wurde zuerst von Galilei erkannt. Die ersten (noch sehr unvollkommenen) Thermometer bestanden aus einer am oberen Ende (A, Fig. 430) kugelig aufgeblasenen Glasröhre (B), welche in ihrem unteren Teile gefärbten Alkohol enthielt und in ein mit derselben Flüssigkeit gefülltes Gefäfs (C) eingetaucht war. Über der Flüssigkeit enthielt die Röhre Luft. Die Einteilung dieser Thermometer war eine willkürliche. Später gab man dem Thermometer seine jetzige Gestalt. Es dauerte aber noch längere Zeit, bis man sichere und leicht bestimmbare Fundamentalpunkte einführte. Dies geschah erst, nachdem man erkannt hatte, dafs ein Thermometer in schmelzendem Schnee oder Eis, sowie in siedendem Wasser immer dieselbe Temperatur anzeigt. Nachdem schon Huyghens (1665) auf diese Thatsache aufmerksam gemacht hatte, wurde das erste mit festen Fundamentalpunkten versehene Thermometer von Fahrenheit in Danzig (1709) hergestellt.

Bem. Da sehr hohe Temperaturen sich weder mit Qu.- noch mit Weingeist-Thermometern bestimmen lassen, so wendet man zu diesem Zwecke besondere Instrumente an, welche **Pyrometer**[1]) genannt werden. Die Einrichtung derselben ist sehr verschieden (vergl. § 115) und beruht im wesentlichen auf der Ausdehnung schwer schmelzbarer Stoffe oder einer in einem Platingefäfse enthaltenen Luftmenge.

Übungsstoff. 1. Warum ist die Einrichtung des ältesten Therm. unvollkommen? (Einflufs des Luftdruckes!) — 2. Warum eignen sich die Temp. von schmelzendem Eis oder Schnee und von siedendem W. ganz besonders zu Fundamentalpunkten für Therm.? — 3. Den Gefrierpunkt des nach R und C eingerichteten Therm. pflegt man zum Unterschiede von demjenigen nach F als den natürlichen zu bezeichnen; w.? — 4. Wv. beträgt die Temp. der heifsen Quellen in Wiesbaden (70 ^{0} C) und Karlsbad (75 ^{0} C) in Graden nach R und F? — 5. Beim Bohren nach Steinsalz fand man in Sperenberg bei Berlin in einer Tiefe von ungef. 600 m eine Temp. von +26,5 ^{0} R, in einer Tiefe von ungef. 1080 m +37 ^{0} R, in einer Tiefe von 1334 m nahezu 41 ^{0} R. Wv. Grad C und F sind dies? — 6. In London beträgt die mittlere Temp. im Januar +37 ^{0} F, im August +63,5 ^{0}; in Jakutzk (Sibirien) sinkt die Temp. im Januar bisweilen bis gegen —80 ^{0} F, die Sonnenwärme steigt im Juli durchschnittlich bis gegen +64 ^{0} F. Wv. Grad R und C sind dies?

§ 118. Veränderlichkeit der Schmelz- und Siedepunkte.

1. Schmelzpunkte. Die Temperatur, bei welcher ein Körper schmilzt oder siedet, ist im allgemeinen durch den Stoff bestimmt (§ 32); es läfst sich jedoch durch Versuche nachweisen, dafs der Schmelzpunkt, namentlich aber der Siedepunkt nicht ausschliefslich von der Natur der Körper abhängig ist. Bei allen *festen Körpern* übt der äufsere Druck in folgender Weise einen Einflufs auf die Höhe des Schmelzpunktes aus:

[1]) πῦρ (pyr), Feuer.

Durch **starken Druck** wird der Schmelzpunkt bei denjenigen Körpern, welche sich beim Schmelzen ausdehnen, erhöht, bei denjenigen dagegen, welche sich beim Schmelzen zusammenziehen, erniedrigt.

Alle Körper, welche sich *beim Schmelzen ausdehnen,* haben, indem sie sich ausdehnen, den Druck der Luft zu überwinden. Wird nun der äufsere Druck vergröfsert, so ist der Widerstand, welcher überwunden werden mufs, gröfser als vorhin; solche Körper müssen daher stärker erhitzt werden, ehe sie schmelzen. Bei Körpern, welche sich *beim Schmelzen zusammenziehen,* wird die Wärme durch die Vergröfserung des Druckes in ihrer Wirkung unterstützt; Körper von dieser Beschaffenheit brauchen somit nicht so stark erhitzt zu werden. In beiden Fällen indes kann der Einflufs, welchen der äufsere Druck auf den Schmelzpunkt ausübt, nur sehr gering sein, da die Wirkung der Molekularkräfte hierbei bedeutend überwiegt.

Beim Wasser beträgt die Erniedrigung des Schmelzpunktes bei einer Zunahme des Druckes um 1 Atm. nahezu $\frac{1}{144}{}^0$ C. Eis zeigt die eigentümliche Erscheinung, dafs Stücke desselben bei gegenseitiger Berührung unter Druck wieder zusammenfrieren. Wird z. B. um ein Stück Eis eine mit Gewichten belastete Drahtschlinge gehängt, so durchdringt diese das Eis zwar allmählich, das entstehende Schmelzwasser aber gefriert über dem Drahte wieder, sodafs das Eisstück ganz bleibt und beim Zerschlagen ebenso leicht in jeder anderen Richtung zerspringt, als in der, in welcher es vom Draht durchschnitten wurde. Bildet sich Eis aus Schnee unter starkem Druck (beim Pressen in Formen, Schneeball in der Hand), so wird es zähe und biegsam. Aus dieser Eigenschaft des Eises (**Regelation**) erklärt man die Erscheinungen der **Gletscher,** welche sich wie eine zähe Masse langsam thalabwärts bewegen und somit gleichsam im Fliefsen begriffene Eisströme sind; der am unteren Ende namentlich im Sommer durch Abschmelzen der Gletscherzunge eintretende Verlust wird durch steten Nachschub von oben wieder ausgeglichen.

Im Innern der Erde mufs der Schmelzpunkt der festen Massen des Erdkörpers, da der Druck mit der Tiefe zunimmt, auch entsprechend höher sein als an der Erdoberfläche.

Erstarrungsverzug oder Überschmelzung. Während sich feste Körper nicht über ihren Schmelzpunkt erwärmen lassen, ohne zu schmelzen, können sich umgekehrt viele Flüssigkeiten, wenn ihre Temperatur langsam sinkt und Erschütterungen und Luftzutritt vermieden werden, ziemlich tief unter ihren Gefrierpunkt abkühlen, ehe sie erstarren.

Bei strenger Winterkälte kann man diesen als *Erstarrungsverzug, Überschmelzung* oder *Unterkühlung* bezeichneten Vorgang häufig an Wasser beobachten, welches im kalten Zimmer längere Zeit gestanden und sich langsam unter 0^0 abgekühlt hat. Sobald das Wasser erschüttert wird (z. B. durch Ausgiefsen), verwandelt es sich in einen Brei von Eisnadeln und die Temperatur desselben steigt auf 0^0. Am leichtesten tritt der Erstarrungsverzug bei Wasser ein, welches man vorher durch Auskochen luftleer gemacht hat; hierauf beruht ein unter dem Namen Wasserhammer bekannter Apparat (Fig. 436), der luftfreies Wasser enthält, welches man leicht auf -6^0 bis -8^0 abkühlen kann, ohne dafs es erstarrt. — Der Erstarrungsverzug tritt auch häufig bei Wassertröpfchen ein, welche in der Luft frei schweben und erst durch Erschütterung (beim Herabfallen z. B.) erstarren (Wichtigkeit dieses Vorganges bei der Bildung von Glatteis, Rauhreif, Graupeln und Hagel).

In sehr anschaulicher Weise läfst sich der Erstarrungsverzug an *unterschwefligsaurem Natron* beobachten (vergl. § 119, Versuch c).

Eine eigentümliche Veränderung ihrer Schmelzpunkte zeigen Metalle beim Zusammenschmelzen (**Metallgemische oder Legierungen**). Bei diesen liegt näm-

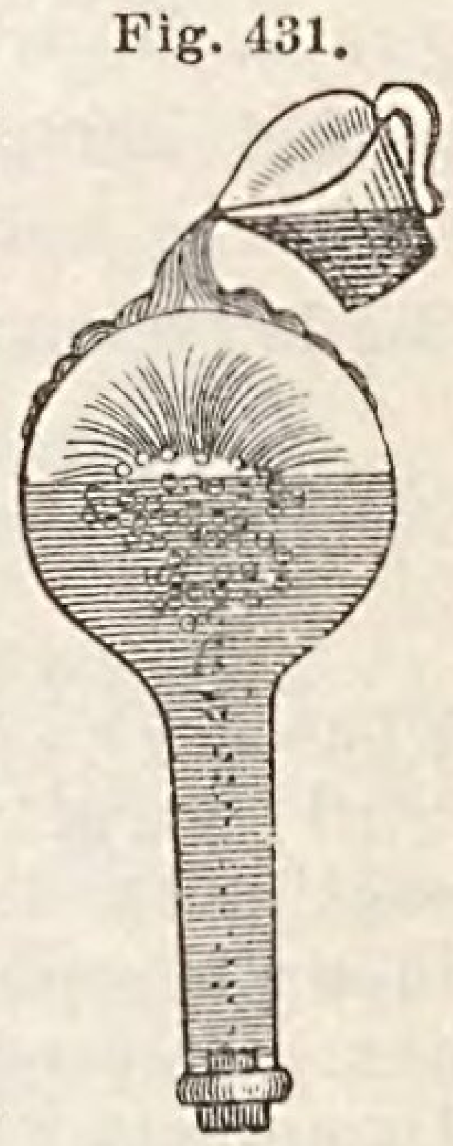
lich der Schmelzpunkt gewöhnlich tiefer als das Mittel aus den Schmelzpunkten der Bestandteile.

Während z. B. Blei erst bei ungefähr 300°, Zinn bei 230° C schmilzt, liegt der Schmelzpunkt des sogen. Schnell- oder Weichlotes, einer Legierung aus beiden Metallen (1 Teil Blei und 2 Teile Zinn) bei 170°. — Schmilzt man 2 Teile Blei, 2 Teile Zinn, 7 bis 8 Teile Wismut (Schmelzpunkt 270° C) und 2 Teile Kadmium (Schmelzpunkt 320° C) zusammen, so erhält man eine Legierung, welche schon bei 65° bis 70° C (z. B. beim Eintauchen in nahezu kochendes Wasser) schmilzt (Woodsches Metallgemisch).

Zum Schmelzen der Eisenerze in Hochöfen wendet man, um die Erze leichter in Fluſs zu bringen, als Zusatz gewisse Mineralien an (Fluſsspat, Kalk, Quarz).

2. Siedepunkte. Eine *Flüssigkeit* kann in offenen Gefäſsen erst dann sieden, wenn die Dampfspannung dem Luftdrucke gleich ist, da letzterer von den Dämpfen überwunden werden muſs (§ 33). Hiernach läſst sich erwarten, daſs eine Flüssigkeit stärker als gewöhnlich erhitzt werden muſs, wenn der äuſsere Druck vergröſsert wird, dagegen schon bei einer niedrigen Temperatur siedet, wenn man den äuſseren Druck vermindert. Ersteres lehren die beim Gebrauch dicht verschlossener Kochgefäſse (sogen. *Papinsche Töpfe,* Fig. 432) und namentlich bei Dampfmaschinen eintretenden Erscheinungen; letzteres läſst sich daraus schlieſsen, daſs auf hohen Bergen das Wasser in offenen Gefäſsen bei weniger als 100° siedet, auf dem St. Bernhard (2500 m Höhe) z. B. bei 92°, auf dem Montblanc (4600 m Höhe) bei 85°.

Fig. 431.



Versuch a. Unter dem Recipienten einer Luftpumpe siedet Wasser von 50 bis 60° C. schon nach einigen Kolbenzügen (s. § 87, Versuch d.).

*__Versuch b.__ Läſst man W. in einer Kochflasche (Fig. 431) kurze Zeit kochen, verschlieſst darauf die Flasche möglichst dicht und kehrt sie um, so fängt das Wasser wieder an zu sieden, sobald man sie durch Übergieſsen mit kaltem Wasser oder durch Eis und Schnee von auſsen abkühlt (Erklärung!). Das Sieden erfolgt stoſsweise.

Der **Siedepunkt** einer Flüssigkeit hängt nicht allein von der Natur der Flüssigkeit, sondern auch von der Gröſse des äuſseren Druckes ab.

Unter dem *normalen Siedepunkt* versteht man *diejenige Temperatur, bei welcher eine Flüssigkeit unter dem mittleren Luftdrucke von 760 mm siedet;* die Spannkraft ihrer Dämpfe ist dann gleich diesem Drucke.

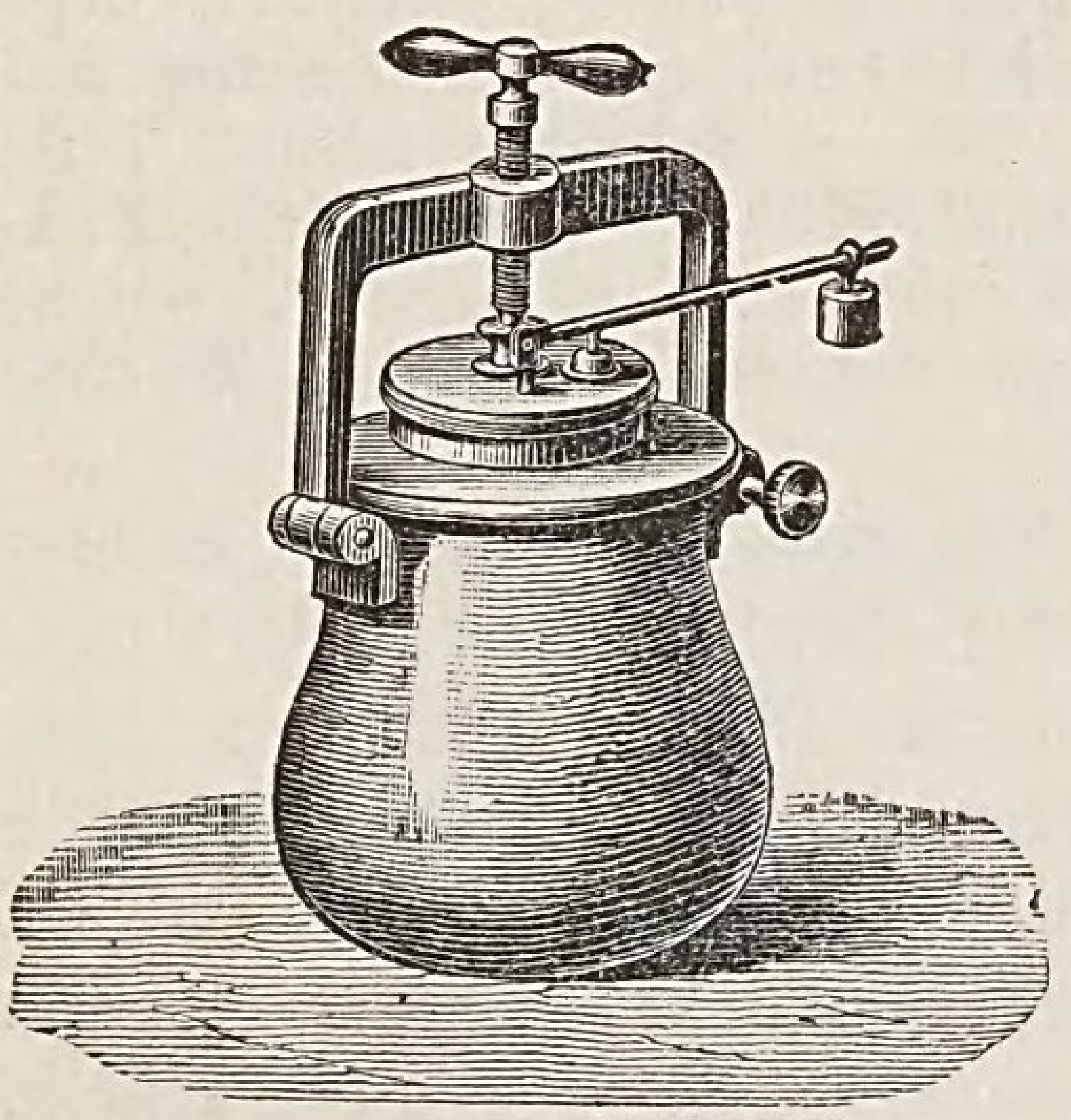
Folgende Tabelle zeigt für Wasser die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdrucke, der durch eine in mm angegebene Quecksilbersäule gemessen ist.

Siedepunkt °C	Druck in mm Quecksilber	Siedepunkt °C	Druck in mm Quecksilber
50	92,0	97	682,0
60	148,8	98	707,3
70	233,1	98,5	720,1
80	354,6	99	733,2
90	525,4	99,5	746,5
95	633,8	100	760,0
96	657,5	101	787,6

In einem offenen Gefäſse läſst sich demnach eine Flüssigkeit nicht über den Siedepunkt erhitzen, welcher dem gleichzeitigen Luftdrucke entspricht; in einem geschlossenen Gefäſse dagegen steigert sich die Dampfspannung und damit erhöht sich auch der Siedepunkt, der z. B. bei 2 Atmosphären Druck 121°, bei 3 Atm. 134° beträgt (vgl. § 122). Eine Anwendung hiervon wird bei dem sogen. Papinschen

Topf oder Dampfkochtopf gemacht (Fig. 432); warum ist derselbe an Orten, die eine beträchtliche Meereshöhe haben, für Haushaltungszwecke sehr wichtig? — Das Sieden bei geringem Drucke findet eine Anwendung bei der Zuckerfabrikation. Um aus den Zuckersäften der Rüben in kurzer Zeit möglichst viel krystallisierten Zucker zu gewinnen und eine Zersetzung der Säfte zu verhüten, läfst man dieselben in geschlossenen Pfannen, sogen. *Vakuumpfannen*, aus denen man zur Erniedrigung des Siedepunktes Luft und Dämpfe mittelst Luftpumpen entfernt, bei 60⁰ bis 70⁰ C kochen.

Fig. 432.



Der Siedepunkt von Flüssigkeiten kann auch dadurch erhöht werden, dafs man *Salze* in denselben auflöst (eine gesättigte Lösung von Kochsalz z. B. siedet bei 108,5⁰). Ferner übt auf das Sieden das Vorhandensein oder Fehlen von *Gasen* in einer Flüssigkeit einen Einflufs aus; das Sieden luftfreien (ausgekochten) Wassers z. B. tritt erst bei höherer Temperatur und dann stofsweise unter Bildung grofser Dampfblasen ein, da die dem Sieden sonst voraufgehende Bildung von Luftbläschen, welche Dampfteilchen aufnehmen können, fehlt. Diese Erscheinung heifst **Siedeverzug** oder **Überhitzung**.

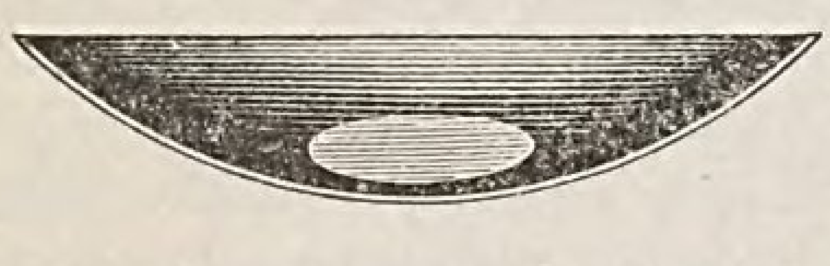
Manche Flüssigkeiten, z. B. Öl, kochen gewöhnlich stofsweise. Um dies zu verhüten, braucht man nur Thonscherben oder dergl. hineinzuwerfen. (Erkläre dies!)

Siedeverzüge können auch leicht eintreten, wenn nicht die Flüssigkeit erhitzt, sondern der äufsere Druck stark vermindert wird (vergl. Versuch b. Fig. 431). Bleibt daher die Temperatur der Flüssigkeit weit über demjenigen Siedepunkte, welcher dem äufseren Drucke entspricht (bei Dampfkesseln z. B. während einer längeren Arbeitsruhe, wenn die Kesselwand über dem Wasserspiegel sich stärker abkühlt als das Wasser), so kann die plötzliche Dampfentwickelung eine Explosion zur Folge haben.

Leidenfrostsche Tropfen. Ein *Versuch mit einigen Wassertropfen, die man auf eine bis nahe zum Rotglühen erhitzte, sehr flache Blechschale fallen läfst, zeigt, dafs geringe Flüssigkeitsmengen auf einer sehr stark erhitzten metallischen Unterlage eine tropfenähnliche Gestalt annehmen und schliefslich mit heftigem Zischen verdampfen.

Erklärung: Durch die starke Hitze des Metalles entsteht unter dem Tropfen eine Dampfschicht (Fig. 433), von welcher derselbe getragen und so vor der unmittelbaren Einwirkung der Wärme geschützt wird. Da ferner dem Tropfen durch die fortgesetzte Dampfbildung Wärme entzogen wird, so liegt seine Temperatur immer noch mehrere Grade unter dem Siedepunkte. Kühlt sich die Unterlage bis nahe zum Siedepunkte der Flüssigkeit ab, so verschwindet die Dampfschicht und der Tropfen kommt mit dem Metalle in Berührung; dadurch steigt seine Temperatur so schnell, dafs eine plötzliche Verdampfung stattfindet.

Fig. 433.



Eine ähnliche Erscheinung tritt auch ein, wenn sehr heifses Metall in Wasser getaucht wird (Ablöschen von glühendem Eisen), oder wenn Dampfkessel erst dann gespeist werden, nachdem die Kesselwand über dem Wasser sich bereits bis zum Glühen erhitzt hat (Ursache mancher Kesselexplosionen). — Die merkwürdige, schon seit alten Zeiten in Schmelzhütten bekannte Erscheinung, dafs man die Hände kurze Zeit in sgechmolzenes Metall eintauchen kann, ohne sich zu verbrennen, scheint sich ebenfalls aus der Bildung einer dünnen Dampfschicht zu

erklären, welche die feuchte Haut vor der Berührung mit dem glühenden Metall schützt. (Feuerproben des Mittelalters.)

Übungsstoff. 1. Warum lassen sich Gegenstände aus Blei oder Zinn mit einer Legierung aus Blei und Zinn löten? — 2. Die Deckel der Kochtöpfe werden bisweilen belastet. Welchen Einfluſs hat dies auf die Temp. der Speisen und welche Vorsicht ist dabei anzuwenden? — 3. In einem Dampfkessel sei das W. über 100⁰ erhitzt. Was wird eintreten, a. wenn man die Dämpfe abströmen läſst, b. wenn die obere Kesselwand sich schneller abkühlt als das W.? — 4. Angenommen, die ∩förmige Röhre (Fig. 110) sei aus 2 durch einen kurzen Gummischlauch verbundenen Teilen zusammengesetzt; wie lieſse sich dann nach dem Sieden des W. der Dampf leicht absperren, und ohne Flamme ein Sieden bewirken? — 5. Warum muſs hierzu, wie bei Versuch b (Fig. 431), der Dampf erst einige Zeit ausgeströmt sein, ehe man ihn absperrt? — 6. Wie groſs würde nach der obigen Tabelle der Luftdruck an einem Orte sein, an dem W. in einem offenen Gefäſse bei 98, 95, 90⁰ siedet? — 7. Wie könnte man darnach die Höhe eines Ortes über dem Meere durch Beobachtung an einem Therm. bestimmen? — 8. Warum sind an den zu diesem Zwecke verwendeten Therm. (sogen. Hypsothermometern) nur wenige Grade der Skala (unterhalb des Siedepunktes) nötig, und warum müssen diese in sehr kleine Bruchteile geteilt sein? — 9. Ausgekochtes W. siedet in einem Gefäſse, das längere Zeit leer gestanden hat, leichter, als wenn man es in ein Gefäſs gieſst, in welchem unmittelbar vorher W. gekocht wurde; w.? — 10. Wird Weingeist oder W. auf heiſsen Unterlagen länger einen Leidenfrostschen Tropfen bilden können?

§ 119. Schmelz- und Erstarrungswärme. Nach den bisherigen Betrachtungen über die Wirkungen der Wärme könnte es scheinen, als ob die Temperatur eines Körpers unter allen Umständen durch Aufnahme von Wärme steigen und durch Abgabe von Wärme sinken müſste, wie es thatsächlich auch der Fall ist, wenn der Körper seinen Aggregatzustand beibehält, wenn also z. B. der feste Körper fest, der flüssige flüssig bleibt. Sobald jedoch mit der Erwärmung oder Abkühlung eine Änderung des Aggregatzustandes verbunden ist, treten besondere Erscheinungen ein, wie folgende Versuche lehren.

***Versuch a.** Wird Schnee oder zerstoſsenes Eis von 0^0 in einem Gefäſse erwärmt, so bleibt die Temperatur (bei genügendem Umrühren der Masse) solange dieselbe, bis der Schnee oder das Eis vollständig geschmolzen ist. — Mischt man Schnee oder gestoſsenes Eis mit ebensoviel kochendem Wasser, so kühlt sich letzteres dadurch viel stärker ab, als durch Zusatz von gleichviel kaltem Wasser.

Wird 1 kg Schnee oder Eis von 0^0 in ebensoviel Wasser von nahezu 80^0 geschmolzen, so erfolgt eine Abkühlung des Wassers bis 0^0.

Beim Schmelzen oder Auflösen von anderen festen Körpern treten ähnliche Erscheinungen ein. Mischt man 1 Teil Schnee mit 2 Teilen Kochsalz, so schmelzen beide Körper und die Temperatur sinkt bis gegen -20^0 C: **Kältemischung**.

Schnee und Kochsalz wird als Kältemischung namentlich bei physikalischen Versuchen angewandt. Durch Mischung von Schnee und Schwefelsäure läſst sich die Temperatur bis auf -60^0 erniedrigen.

***Versuch b.** Schüttet man Glaubersalz, Soda, Salpeter, Salmiak oder dergl. unter Umrühren in Wasser von gewöhnlicher Temperatur, so sinkt die Temperatur des Wassers je nach der Natur der gelösten Körper, wie sich durch Anwendung eines Differentialthermometers oder Thermoskopes leicht nachweisen läſst.

***Versuch c.** In einem weithalsigen Kochfläschchen schmelze man unterschwefligsaures Natron (Schmelzpunkt 57° C) und lasse die geschmolzene Masse, nachdem man ein Thermoskop (Fig. 434) hineingestellt hat, sich langsam auf + 12° bis 15° C abkühlen (Erstarrungsverzug). Wirft man dann einige Körnchen desselben Salzes in die Flüssigkeit, so krystallisiert diese ziemlich schnell, wobei das Thermoskop sehr deutlich eine Temperaturerhöhung anzeigt. Aus diesen Ersheinungen mufs man schliefsen:

Fig. 434.



Alle festen Körper verbrauchen Wärme beim Schmelzen **(Schmelzwärme)**; alle flüssigen Körper erzeugen Wärme beim Erstarren **(Erstarrungswärme)**.

Genaue Untersuchungen lehren:

Die Erstarrungswärme eines Körpers ist der Schmelzwärme gleich.

Das Thermometer zeigt den Wärmezustand eines Körpers an, nicht aber die Wärmemengen, welche ein Körper zum Schmelzen verbraucht oder beim Erstarren erzeugt. Zur Vergleichung dieser Wärmemengen mufs eine geeignete Wärmeeinheit festgesetzt werden.

Unter einer **Wärmeeinheit** *oder* **Kalorie**[1]) *versteht man diejenige Wärmemenge, welche 1 kg Wasser aufnimmt, wenn es von 0° bis 1° C erwärmt wird, also auch abgiebt, wenn es von 1° bis 0° abgekühlt wird.*

Beim Verflüssigen eines festen Körpers gehen die Teilchen desselben aus dem festen Zusammenhange in den Zustand grofser Beweglichkeit über; beim Erstarren verlieren sie diese Beweglichkeit wieder. Im ersteren Falle mufs der Widerstand der Kohäsion *(innerer Widerstand)* nahezu ganz überwunden werden. Dehnt sich ein Körper beim Schmelzen aus, so ist aufserdem noch der Widerstand des Luftdruckes *(äufserer Widerstand)* zu überwinden. Nach dem Verflüssigen des festen Körpers ist daher die von demselben aufgenommene Wärme als solche nicht mehr vorhanden. Nach den früheren Vorstellungen vom Wesen der Wärme, die man sich als einen Stoff vorstellte, konnte man nicht annehmen, dafs ein Teil dieses Wärmestoffes beim Schmelzen verloren gehe; mithin dachte man sich denselben in einen besonderen Zustand übergeführt, in dem er keine Einwirkung auf das Thermometer äufsern könne: *latente* oder *gebundene Wärme.* Die neuere Theorie, welche das Wesen der Wärme als einen Bewegungsvorgang erkannt hat, macht diese Annahme überflüssig, indem sie den Verbrauch von Wärme beim Schmelzen einfach dadurch erklärt, dafs zur Trennung der Teilchen des festen Körpers eine gewisse Arbeit erforderlich ist, welche durch die Wärme geleistet wird. Erstarrt der geschmolzene Körper, so kommt diese innere Arbeit in der Form von Wärme wieder zum Vorschein, sie ist nun im Sinne der älteren Anschauungen wieder *freie Wärme* (vergl. auch § 147).

Beispiele: 1 kg Eis oder Schnee verbraucht beim Schmelzen nahezu 80 Wärmeeinheiten (genauer 79,25), 1 kg Wasser erzeugt, wenn es erstarrt, dieselbe

[1]) calor, Wärme.

Anzahl von Wärmeeinheiten. — Die Schmelz- und Erstarrungswärme beträgt für 1 kg Zink ungefähr 28, Zinn 14, Silber 11, Blei und Schwefel nur 5 Wärmeeinheiten. Eis hat von allen Körpern die gröfste Schmelzwärme.

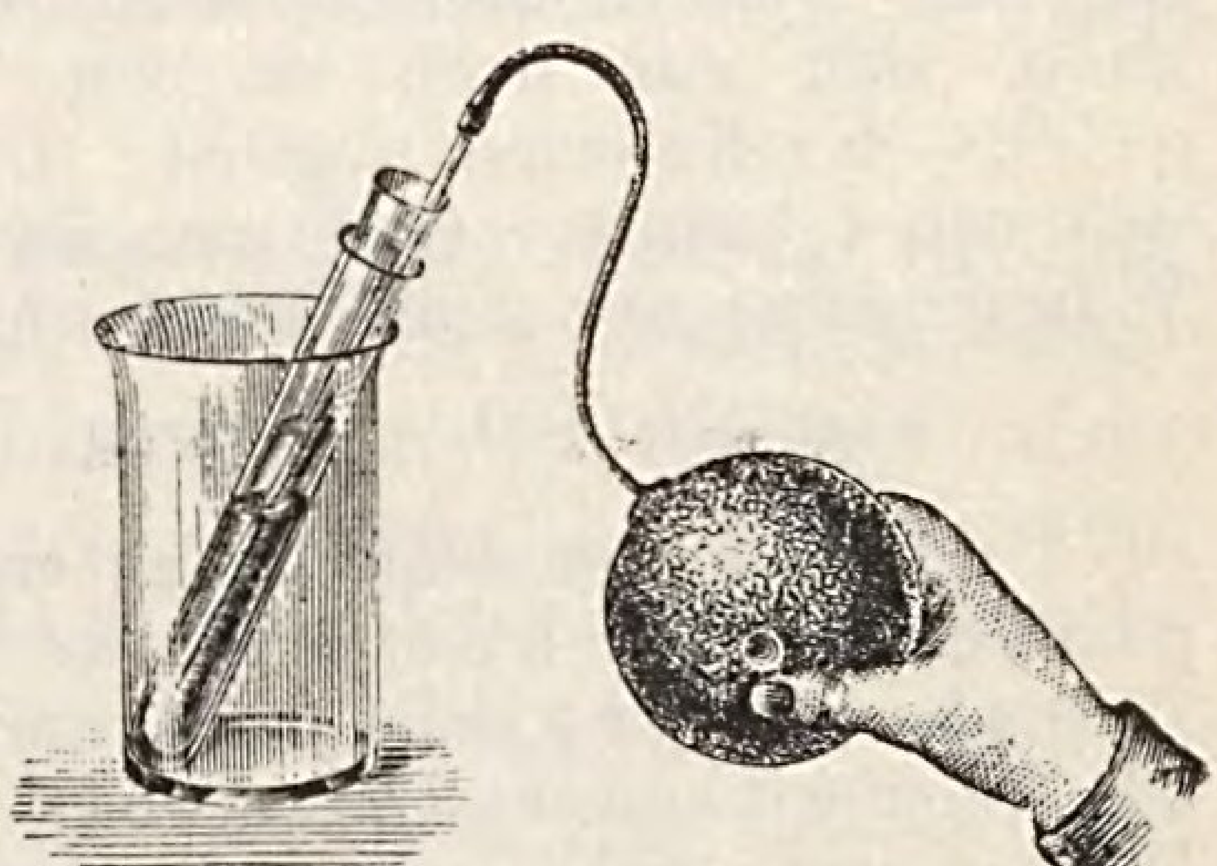
Dadurch, dafs Eis und Schnee beim Schmelzen viel Wärme verbrauchen und Wasser beim Gefrieren viel Wärme erzeugt, werden die Temperaturübergänge während der kalten Jahreszeit etwas gemildert. Ohne die hohe Schmelzwärme würde auch das Auftauen des Eises und Schnees bedeutend schneller erfolgen.

Übungsstoff. 1. Welchen Einflufs mufs es auf die Temp. einer Flgk. ausüben, wenn man Zucker oder einen anderen festen K. in derselben auflöst? — 2. Obst oder dergl. läfst sich in Kellern dadurch gegen das Gefrieren schützen, dafs man flache Schalen mit W. daneben stellt. Zur Erklärung der Ersch. sagt man „das W. ziehe die Kälte an". Welches ist der wahre Grund? — 3. Warum kann man heifses W. durch Schnee oder Eis stärker abkühlen als durch ebensoviel eiskaltes W.? (Anwendung der sogen. „Eisbeutel".) — 4. Um wv. Grad kann 1 kg W. von 0⁰ sich erwärmen, bis es ebensoviel Wärme aufgenommen hat als 1 kg Schnee oder Eis beim Schmelzen verbraucht? — 5. Wie kann man im warmen Zimmer W. auf einem Teller gefrieren lassen? — 6. Wie erklärt es sich, dafs das W., welches durch die Einwirkung von Kochsalz auf Schnee entsteht, bei starkem Sinken der Temp. nicht wieder gefriert und warum streut man bei Schneefall Kochsalz auf die Schienen der Pferdeeisenbahnen? — 7. Wv. kochendes W. ist erforderlich, um 50 kg Eis von 0⁰ zu schmelzen? — 8. Wv. Eis von 0⁰ kann durch 20 kg kochendes W. geschmolzen werden? — 9. Wv. W. könnte durch die Wärme, welche bei der Bildung von 1 kg Eis entsteht, um 1⁰ C erwärmt werden? — 10. Warum ist von der beim Gefrieren der Gewässer entstehenden Wärme in der Natur wenig wahrzunehmen?

§ 120. Verdampfungs- und Kondensationswärme.

Versuch a. Wird die nicht geschwärzte Kugel des Differential-Thermometers (Fig. 429) nacheinander mit Äther, Weingeist und Wasser benetzt, so zeigt der Flüssigkeitsfaden des Thermometers beim Äther die stärkste, beim Wasser die geringste Temperaturerniedrigung an.

Fig. 435.



***Versuch b.** Läfst man in einem Probierglase, das in ein mit kaltem Wasser gefülltes weiteres Glas gestellt ist (Fig. 435), reinen Äther dadurch verdunsten, dafs man mittelst eines Blasebalges Luft hindurchtreibt, so sinkt die Temperatur des Äthers in kurzer Zeit unter 0⁰ und es bildet sich eine Eisschicht zwischen den Gläsern.

Unter dem Recipienten der Luftpumpe verdampft Äther sehr schnell und bringt Wasser in einem Uhrschälchen leicht zum Gefrieren (vergl. § 87, Versuch d).

***Versuch c.** Erwärmt man gleiche Mengen kalten Wassers (etwa 200 ccm) in 2 Glascylindern, indem man in den einen Cylinder Dämpfe von kochendem Wasser leitet und in den andern ebensoviel kochendes Wasser giefst, so steigt die Temperatur im ersten Cylinder bedeutend höher als im zweiten, obgleich Dämpfe von kochendem Wasser nicht heifser sind als das Wasser selbst.

Während des Siedens von Wasser in einem offenen Gefäfse bleibt das Thermometer bei 100⁰ C stehen (§ 32, Versuch c); die zugeführte

Wärmemenge ist also zur Dampfbildung verbraucht worden. Umgekehrt wird beim Übergang des Dampfes in den flüssigen Zustand die vorher gebundene Wärme wieder frei.

Ähnliche Erscheinungen treten stets ein, wenn Flüssigkeiten dampfförmig oder wenn Dämpfe flüssig werden.

Alle Flüssigkeiten verbrauchen Wärme, wenn sie dampfförmig werden **(Verdampfungswärme)**; alle Dämpfe erzeugen Wärme, wenn sie flüssig werden **(Kondensationswärme)**.

Die Kondensationswärme eines Körpers ist gleich seiner Verdampfungswärme.

Die Verdampfungswärme wird wie die Schmelzwärme zur Überwindung eines *inneren* und eines *äufseren Widerstandes* (der Kohäsion und des Luftdruckes) verbraucht. Sie hat also eine Arbeit geleistet und ist nach der Verdampfung der Flüssigkeit als Wärme nicht mehr vorhanden; wenn der Dampf sich wieder zu Flüssigkeit kondensiert, so kommt die vorher verbrauchte Wärme als solche wieder zum Vorschein.

Auf diesem Vorgange beruht das Verfahren zur Ermittelung der Verdampfungswärme: Man leitet Dampf durch ein schlangenförmig gewundenes Metallrohr, welches in einem Kühlgefäfse von einer bestimmten Menge kalten Wassers umgeben ist. An dieses giebt der Dampf, indem er sich im Schlangenrohr kondensiert, die Dampfwärme ab, welche mithin aus dem Gewicht und der Temperaturerhöhung des Kühlwassers berechnet werden kann. Sind z. B. q gr Wasserdampf von 100° zu Wasser von 100° verdichtet worden, so hat der Dampf qx Wärmeeinheiten abgegeben, wenn x die Verdampfungswärme bezeichnet. Dieses Kondensationswasser kühlt sich nun noch bis zur Temperatur des Kühlwassers (t_2) ab, wobei es $q(100-t_2)$ Kalorien abgiebt. Die Menge des Kühlwassers betrage q_1 kg, welche sich von t_1^0 auf t_2^0 erwärmen und mithin $q_1(t_2-t_1)$ Kalorien aufnehmen. Da diese Wärmemenge der vom Dampf abgegebenen gleich ist, so gilt mithin die Gleichung

$$qx + q(100-t_2) = q_1(t_2-t_1),$$ woraus sich x leicht bestimmen läfst.

Genaue Versuche haben ergeben, dafs Wasser die gröfste Verdampfungswärme hat und zwar beträgt dieselbe 537 Wärmeeinheiten. 1 kg siedender Weingeist verbraucht ungefähr 210, 1 kg siedender Äther nur 90 Wärmeeinheiten. Zum Verdunsten ist noch mehr Wärme erforderlich; 1 kg Wasser verbraucht zum Verdunsten bei gewöhnlicher Temperatur gegen 600 Wärmeeinheiten. Dadurch, dafs die zum Verdunsten nötige Wärme der Umgebung entzogen wird, entsteht Verdunstungskälte. Die Verdunstungskälte ist bei manchen Flüssigkeiten sehr bedeutend. So entsteht z. B. beim Verdunsten flüssiger Kohlensäure eine Kälte von ungefähr —60°. Wird die dabei sich bildende schneeähnliche feste Kohlensäure mit Äther gemengt und unter den Recipienten der Luftpumpe gebracht, so läfst sich durch Verdünnung der Luft eine Kälte von —110° erzeugen. (Anwendung der Verdunstungskälte zur Verdichtung von Gasen bei gleichzeitiger Erhöhung des Druckes, siehe Seite 119 und 310.)

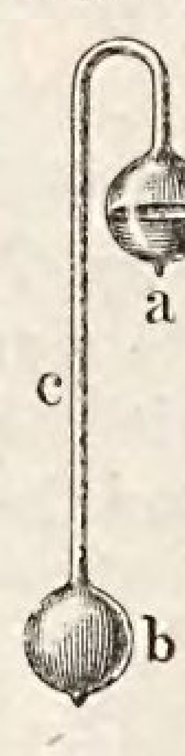
Die Eigenschaft des Wassers, beim Verdunsten sehr viel Wärme zu verbrauchen, sowie diejenige des Wasserdampfes, ebensoviel Wärme bei seiner Kondensation wieder zu erzeugen, ist im *Haushalte der Natur* für die Milderung klimatischer Gegensätze äufserst wichtig. Die erwärmten Luftmassen, welche über den Meeren heifser Gegenden täglich aufsteigen, sind sehr reich an Wasserdämpfen, von denen ein grofser Teil durch Winde kälteren Ländern zugeführt wird. Sobald diese Dämpfe sich zu Wolken verdichten, geben sie die bei ihrer Entstehung aufgenommene Wärme wieder ab.

Von der Kondensationswärme des Wasserdampfes macht man bei der Dampfheizung eine wichtige Anwendung.

Durch den Wärmeverbrauch, welcher bei der Verwandlung einer Flüssigkeit in Dampf stattfindet, wird es möglich, Eis in gröfserer Menge künstlich herzustellen. Man verwendet hierzu Flüssigkeiten, welche einen niedrigen Siedepunkt haben, wie z. B. Äther oder Ammoniak, und bringt dieselben durch besondere Vorrichtungen zum schnellen Verdunsten (Eismaschinen).

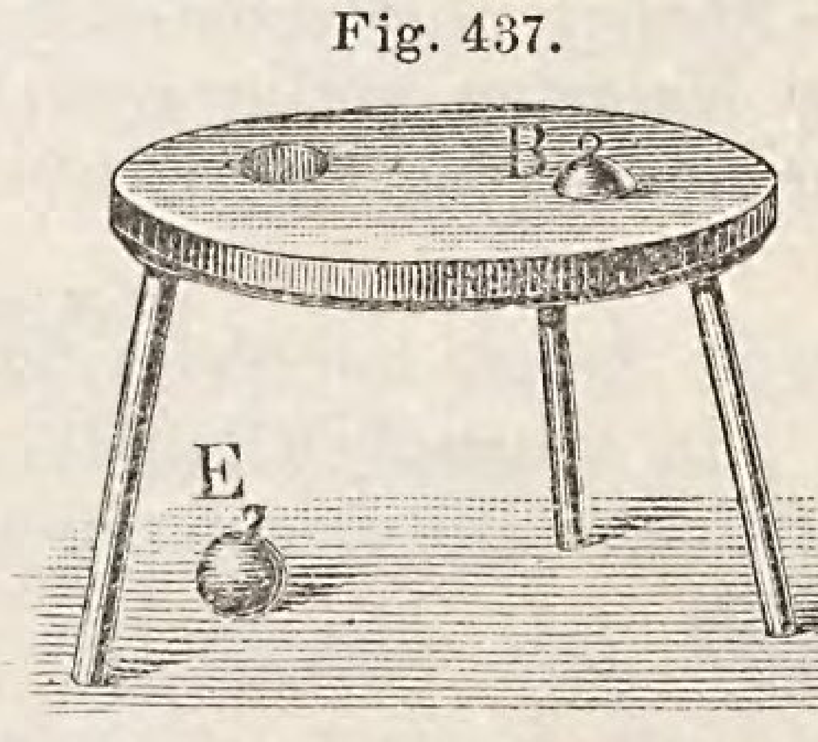
Übungsstoff. 1. Zinnerne Gefäfse schmelzen beim Erhitzen leicht, wenn sie leer sind, nicht aber, wenn sie mit W. gefüllt sind. Erkl. und Anwendung auf Kochgefäfse, deren Boden angelötet ist. — 2. Warum ist es verschwenderisch, unter Kochtöpfen noch stark nachzuheizen, wenn das W. bereits siedet? — 3. Wird beim Kochen in offenen oder in geschlossenen Gefäfsen mehr Feuerung verbraucht? — 4. Warum läfst sich W. durch Dämpfe bis zum Sieden erhitzen, nicht aber durch Hinzugiefsen von kochendem W.? — 5. Erkläre die Abkühlung durch Besprengen des Fufsbodens, desgl. die des Trinkwassers in locker gebrannten, unglasierten Thonflaschen, das Kältegefühl nach dem Baden und nach Durchnässung der Kleidung. — 6. In manchen Gegenden gräbt man an heifsen Sommertagen Flaschen, deren Inhalt man abkühlen will, in den feuchten Boden und zündet auf kurze Zeit Feuer darüber an. Erkl.! — 7. Wird die untere der beiden Glaskugeln eines luftleeren Kryophors (Eisträger, Fig. 436) in eine Kältemischung gestellt, so gefriert das in der oberen Kugel enthaltene W. leicht. Erkl.! — 8. Bei vorigem Versuche bildet sich eine Eisdecke; kühlt man den Apparat ganz allmählich (etwa im Freien) stark ab, ohne ihn zu erschüttern, so entsteht beim kräftigen Schütteln ein Eisbrei (§ 118). Erkl.! — 9. Tropfen von W., Weingeist und Äther lassen sich auf der Hand leicht durch das Gefühl voneinander unterscheiden. Erkl.! — 10. Warum mufs es bedeutend länger dauern, bei derselben Wärmezufuhr kochendes W. in Dampf zu verwandeln, als ebensoviel W. von 0° bis zum Sieden zu erhitzen? — 11. Wv. kg eiskaltes W. kann man mit derjenigen Wärmemenge, welche zum völligen Verdampfen von 1 kg kochenden W. nötig ist, bis zum Sieden erhitzen? — 12. Wievielmal soviel Wärme verbraucht 1 kg W. beim Verdampfen als 1 kg Eis beim Schmelzen?

Fig. 436.



§ 121. Specifische Wärme. Die in den beiden vorigen Paragraphen angeführte Thatsache, dafs zum Schmelzen wie zum Verdampfen gleicher Gewichtsmengen verschiedener Körper ungleiche Wärmemengen erforderlich sind, legt uns die Frage nahe, ob die Körper ähnliche Verschiedenheiten auch bei gleicher Temperaturzunahme zeigen werden. Gewisse Beobachtungen scheinen dies zu bestätigen. So erwärmt sich z. B. bei gleicher Bestrahlung durch die Sonne das Wasser bedeutend langsamer als der feste Boden und die Luft, wie es sich andererseits unter sonst gleichen Verhältnissen auch langsamer wieder abkühlt. (Bekannte Erfahrung beim Baden in offenen Gewässern.) Wasser scheint somit zu gleicher Temperaturerhöhung mehr Wärme zu erfordern als andere Körper.

Fig. 437.



Die Vermutung, ob gleiche Gewichtsmengen verschiedener Körper zu gleicher Temperaturerhöhung ungleicher Wärmemengen bedürfen, läfst sich durch folgenden Versuch prüfen.

Versuch. 1. Legt man gleichschwere Kugeln aus verschiedenen Metallen (z.B. Eisen und Blei), die in kochendem Wasser erhitzt werden, auf eine Scheibe von Wachs (Fig. 437), so schmelzen dieselben verschieden tief ein.

2. Wenn man gleiche Gewichtsmengen bis zu gleicher Temperatur erhitzte Eisenfeilspäne und Bleischnitzel nacheinander mit einer bestimmten Menge kalten Wassers mischt, so wird dasselbe ungleichstark erwärmt.

Da gleiche Gewichtsmengen der betreffenden Metalle bei gleicher Temperaturabnahme ungleiche Wärmemengen abgeben, so müssen sie umgekehrt bei gleicher Temperaturzunahme auch verschiedene Wärmemengen aufgenommen haben. Diese Folgerung führt zum Begriff der „specifischen Wärme“.

Unter der **specifischen Wärme** *oder* **Wärmekapacität**[1]) *eines Körpers versteht man die Wärmemenge, welche 1 kg desselben zu einer Temperaturerhöhung von 1° C bedarf.*

Zur genauen Bestimmung der spec Wärme *fester* und *flüssiger Körper* dienen folgende Methoden:

1) Die Mischungsmethode. Der gewogene und bis zu einer bestimmten Temperatur erhitzte Körper wird zur Abkühlung in eine bestimmte Menge Wasser getaucht. Hierauf berechnet man aus dem Gewichte und der Temperaturerhöhung des Wassers die vom Körper abgegebene Wärmemenge, wonach sich seine spec. Wärme bestimmen läfst.

Man bedient sich hierbei eines Kalorimeters, d. h. eines Gefäfses aus Blech, welches mit schlechten Wärmeleitern umgeben ist. Werden in demselben p kg Wasser durch den hineingebrachten Körper von t_1^0 auf t_2^0 erwärmt, so beträgt die vom Wasser aufgenommene Wärme p $(t_2 - t_1)$ Kalorien. Diese Wärmemenge wird vom Körper abgegeben, dessen Gewicht P kg, dessen Anfangstemperatur T^0 und dessen gesuchte spec. Wärme x genannt werden soll. Mithin besteht die Gleichung:

$$P(T - t_2)x = p(t_2 - t_1), \quad \text{woraus sich} \quad x = \frac{p(t_2 - t_1)}{P(T - t_2)} \quad \text{ergiebt.}$$

Bei genauen Bestimmungen mufs berücksichtigt werden, dafs auch das Kalorimeter selbst und das eingetauchte Thermometer Wärme aufnehmen.

Mischt man Wasser mit Wasser, so vereinfacht sich die vorige Gleichung (da $x = 1$ ist), und es ergiebt sich die sogen. Richmannsche Regel, welche zur Berechnung der Mischungstemperatur dient.

$$P(T - t_2) = p(t_2 - t_1), \quad \text{woraus folgt:} \quad t_2 = \frac{PT + pt_1}{P + p}.$$

2) Die Methode des Eisschmelzens. Man läfst den Körper in Eis bis auf 0° erkalten und berechnet aus dem Gewichte des abfliefsenden Schmelzwassers, wieviel Wärmeeinheiten zum Schmelzen verbraucht worden sind.

Hierzu bedient man sich entweder besonderer Apparate, der sogen. Eiskalorimeter, oder man bringt den erhitzten Körper in eine in einem Eisblock hergestellte Höhlung, die man mit einem Stück Eis verschliefst. Sind durch die vom Körper abgegebene Wärme p kg Schmelzwasser entstanden, so werden hierzu 80 . p Kalorien verbraucht. Es ergiebt sich mithin, wenn das Gewicht des Körpers P kg und seine Temperatur t^0 beträgt, die Gleichung:

$$Ptx = 80p, \quad \text{woraus folgt:} \quad x = \frac{80p}{P \cdot t}.$$

In folgender Tabelle sind in abgerundeten Zahlen einige Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen über die spec. Wärme verschiedener Körper zusammengestellt.

[1]) capacitas, Geräumigkeit (Fassungsvermögen).

Wasser	1,00	Kochsalz	0,21	Äther	0,52
Eis	0,50	Erdboden	0,22	Sauerstoff	0,22
Blei, Gold, Platin, Qu.	0,03	Gips	0,26	Atm. Luft	0,24
Zinn und Silber	0,06	Terpentinöl	0,42	Stickstoff	0,24
Zink und Kupfer	0,10	Alkohol (Dichte 0,81)	0,60	Wasserdampf	0,48
Eisen und Nickel	0,11			Wasserstoff	3,41
Quarz und Glas	0,20	Schwefelkohlenstoff	0,22		

Im allgemeinen hat ein Körper im flüssigen Zustande zu gleicher Temperaturerhöhung mehr Wärme nötig als im festen Zustande. Dies ist namentlich der Fall bei Eis und Wasser.

Da sich bei den Gasen weit mehr als bei den flüssigen und festen Körpern der Rauminhalt durch äufseren Druck ändert, so hat man bei der Bestimmung der spec. Wärme der Gase zwei Fälle zu unterscheiden: 1) Das Gas kann sich durch Erwärmung bei gleichbleibendem äufseren Drucke ausdehnen; 2) das Gas ist so eingeschlossen, dafs es sich durch die Erwärmung nicht ausdehnen kann, sein Rauminhalt also derselbe bleibt. Im ersteren Falle ist zu gleicher Temperaturerhöhung mehr Wärme nötig, da dann die Wärme bei der Ausdehnung des Gases einen äufseren Widerstand zu überwinden hat. Auf jenen Fall beziehen sich auch die in obiger Tabelle für Gase angegebenen Zahlen.

Durch die hohe specifische Wärme des Wassers üben die Meere einen mildernden Einflufs auf das Klima aus. Da nämlich das Wasser zu seiner Erwärmung sehr viel Wärme erfordert, so steigt die Temperatur des Meeres unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen sehr langsam und ebenso langsam erfolgt auch die Abkühlung. Der feste Boden hat eine geringe specifische Wärme und ein grofses Ausstrahlungsvermögen. Die Temperaturveränderungen des Meeres müssen daher bedeutend geringer ausfallen, als diejenigen des Festlandes. Durch die Nähe des Meeres werden somit die Länder gegen starken Temperaturwechsel geschützt. Diese ausgleichende Wirkung, welche das Meer auf das Klima ausübt, macht sich namentlich auf den Inseln bemerklich (vergl. § 128).

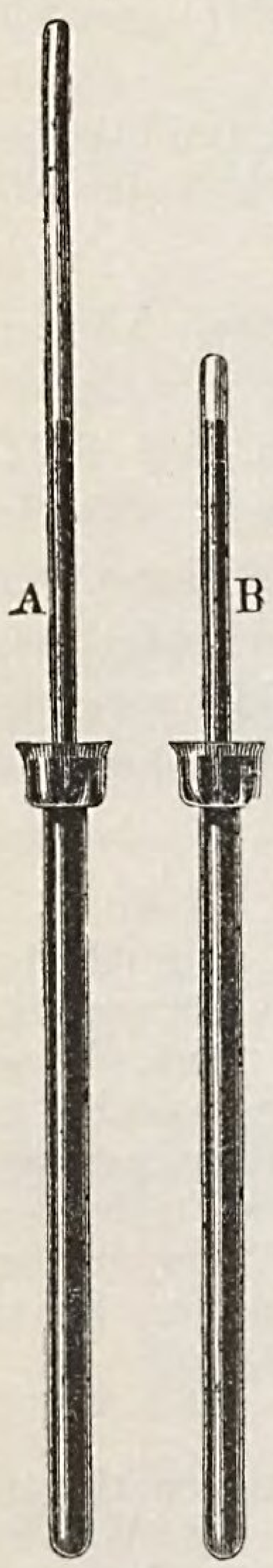
Übungsstoff. 1. Landwirte bezeichnen nassen Boden als kalten Boden. Suche Gründe für die geringere Erwärmungsfähigkeit desselben auf! — 2. Welche Flgk. läfst sich schneller erwärmen: W. oder Qu., u. w.? — 3. Wv. Wärmeeinheiten sind ausreichend, um eine Mischung von 1 kg W. und 1 kg Qu. um 10° zu erwärmen? — 4. Eine rotglühende eiserne Kugel von 1 kg Gew. wird in 10 kg W. von 10° abgekühlt. Um wv. erhöht sich die Temp. des W., wenn die Temp. der Rotglut zu 500° angenommen wird? — 5. Wv. kg Luft können durch die von 1 kg W. abgegebene Wärme, wenn sich dasselbe um 5° abkühlt, um 5° erwärmt werden? — 6. Wv. cbm Luft können durch die Wärme, welche aus 1 kg kondensiertem Wasserdampf frei wird, um 1° C wärmer werden? (Luft ist ungefähr 770 mal so leicht als W.) — 7. Umgiebt man eine bis zu 100° C erhitzte kupferne Kugel von 1 kg ganz mit Eis, so wird 0,12 kg Eis dadurch geschmolzen. a. Wv. Wärmeeinheiten hat die Kugel abgegeben? b. Wie grofs ist hiernach die spec. Wärme des Kupfers? — 8. Wv. kg Eisen, Zink und Blei von 100° würden zum Schmelzen jener Menge Eis erforderlich sein? — 9. Um wv. Grad können diese Metalle mit derselben Wärmemenge erwärmt werden, durch welche die Temp. eines gleichen Gew. W. um 10° C erwärmt wird?

§ 122. Spannung der Dämpfe. Dämpfe und Gase.

Die Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten besitzen eine Spannung (§ 33), vermöge welcher sie sich auszudehnen suchen und sich also wie Gase verhalten. Es bleibt nun festzustellen, ob die Spannung der Dämpfe in gleicher Weise von Temperatur und Druck abhängt, wie es bei Gasen nach dem Mariotte-Gay-Lussacschen Gesetz der Fall ist (vgl. § 85).

Zu diesem Zwecke läſst man die Dampfbildung im luftleeren Raume vor sich gehen, wozu sich am besten die Torricellische Leere eignet; in der beweglichen Quecksilbersäule hat man ein Mittel, die Spannkraft der eingeschlossenen Dämpfe zu messen.

Fig. 438.



Versuch. Läſst man in den luftleeren Raum einer Torricellischen Röhre einige Tropfen Äther hinaufsteigen, so wird das Qu. durch die entstehenden Ätherdämpfe bis zu einer bestimmten Tiefe hinabgedrückt (A, Fig. 438). Je nachdem nun aller Äther sich in Dampf verwandelt, oder ein Teil desselben als Flüssigkeit zurückbleibt, ergeben sich ganz verschiedene Erscheinungen.

1. Ist der Äther vollständig verdampft, so ändert sich die Spannung des Dampfes mit der Vergröſserung und Verkleinerung des Raumes im allgemeinen wie bei den Gasen. Zieht man die Röhre aus dem mit Qu. gefüllten Gefäſse heraus, so steigt die Qu.-Säule A, es findet also eine Abnahme der Dampfspannung statt; taucht man die Röhre tiefer ein, so sinkt die Qu.-Säule, woraus man auf Zunahme der Dampfspannung schlieſsen muſs. Erwärmung der Röhre bewirkt ebenfalls eine Zunahme, Abkühlung eine Abnahme der Dampfspannung.

2. Ist ein Teil des Äthers als Flüssigkeit auf dem Qu zurückgeblieben, so behalten die beiden Qu.-Oberflächen beim Herausziehen der Röhre denselben Abstand von einander; auch beim tieferen Eintauchen der Röhre tritt eine Änderung des Qu.-Standes nicht ein (B, Fig. 438). Die Dampfspannung bleibt somit dieselbe. Erwärmung des Dampfes dagegen hat ein Sinken des Quecksilbers, also eine Zunahme der Dampfspannung, Abkühlung ein Steigen desselben, mithin eine Abnahme der Dampfspannung zur Folge. Zugleich zeigt sich, daſs bei der Vergröſserung des Dampfraumes und bei der Erwärmung noch etwas Flüssigkeit verdampft, bei der Verkleinerung und bei der Abkühlung dagegen ein Teil des Dampfes sich wieder zu Flüssigkeit verdichtet. Hieraus ergiebt sich zunächst, daſs ein abgeschlossener Raum bei einer bestimmten Temperatur nur eine bestimmte Menge von Dampf aufnehmen kann.

Ein Raum, der die seiner Temperatur entsprechende Dampfmenge aufgenommen hat, ist mit Dampf gesättigt; der Dampf heiſst in diesem Falle gesättigter Dampf.

Wird gesättigter Dampf auf einen kleineren Raum zusammengepreſst, so muſs sich (nach der vorhergehenden Erklärung) ein Teil desselben zu Flüssigkeit verdichten. Dadurch unterscheiden sich die gesättigten Dämpfe von den Gasen, welche bei Verkleinerung des Volumens eine erhöhte Spannkraft erhalten. Man kann demnach auch sagen, *daſs gesättigte Dämpfe solche sind, welche für die betreffende Temperatur das Maximum ihrer Spannkraft und Dichtigkeit besitzen.*

Das Anwachsen der Spannkraft gesättigten Wasserdampfes mit der Temperaturzunahme ist aus Tabelle I (folg. Seite) ersichtlich.

Wie sich durch Druck die Spannkraft gesättigter Dämpfe nicht vergröfsern läfst, so läfst sie sich auch durch Ausdehnung nicht verkleinern, da in diesem Falle noch ein Teil der Flüssigkeit verdampft, bis der Raum wieder mit Dampf gesättigt ist. Enthält jedoch der Dampfraum keine Flüssigkeit mehr, so mufs jede Vergröfserung desselben den Zustand der Sättigung aufheben, weil die zu derselben notwendige Dampfmenge jetzt nicht mehr vorhanden ist. Der Dampf heifst dann ungesättigt. Gesättigter Dampf läfst sich auch dadurch in den ungesättigten Zustand überführen, dafs man ihn getrennt von seiner Flüssigkeit erwärmt; weil die Temperatur des erwärmten Dampfes höher ist als die des gesättigten Dampfes von gleicher Spannkraft, so wird ersterer auch als überhitzter Dampf bezeichnet.

Ungesättigter (überhitzter) Dampf läfst sich dementsprechend sowohl durch Verkleinerung des Raumes, den er einnimmt, wie auch durch Abkühlung in gesättigten Dampf verwandeln.

Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten zeigen im wesentlichen dieselben Erscheinungen; die Gröfse ihrer Spannkraft bei derselben Temperatur ist von der Höhe des Siedepunktes ihrer Flüssigkeit abhängig (vergl. II. Tabelle). In einem mit Luft oder einem anderen Gase erfüllten Raume geht die Verdampfung langsamer von statten; die Dämpfe zeigen aber dieselben Eigenschaften wie im luftleeren Raume. Es gelten demnach die Gesetze:

Überhitzte Dämpfe verhalten sich hinsichtlich ihrer Spannung wie Gase, sie folgen also (im allgemeinen) dem Mariotteschen Gesetz (§ 85).

Die Spannung gesättigten Dampfes hängt nur von seiner Temperatur ab. Bei derselben Temperatur haben Dämpfe von verschiedenen Flüssigkeiten eine um so gröfsere Spannung, je niedriger der Siedepunkt ihrer Flüssigkeit ist.

I. Temperatur, Spannung und Rauminhalt gesättigter Wasserdämpfe.

(Der Rauminhalt bezieht sich auf den Dampf von 1 Liter Wasser.)

Temperatur	Spannung	Rauminhalt	Temperatur	Spannung	Rauminhalt
Grade nach C	Atmosphären	Kubikdecimtr.	Grade nach C	Atmosphären	Kubikdecimtr.
50	1/8	11800	144	4	477
65	1/4	6198	152	5	388
82	1/2	3229	159	6	326
100	1	1700	165	7	282
121	2	900	171	8	248
134	3	620	180	10	200

II. Spannungstabelle für Wasser, Alkohol und Äther.

Temp. 0 C	Spannung in mm Quecksilber. Wasser	Alkohol	Äther
— 10	2,1	6,5	113,2
0	4,6	12,7	182,3
+ 10	9,2	24,1	286,5
20	17,4	44,0	434,8
50	92,0	220,3	1268,0
100	760,0	1685,0	4920,4

Dämpfe und Gase. Die Gase, welche man früher den Dämpfen gegenüberstellte, sind als überhitzte und von ihrem Sättigungspunkt sehr weit entfernte Dämpfe anzusehen, denn sie können durch Abkühlung und Zusammenpressen in gesättigte Dämpfe und schliefslich in Flüssigkeiten übergeführt werden (§ 52). Bei einigen Gasen gelingt die Kondensation schon bei einer Temperatur von 0° und einem Druck von einigen Atmosphären (schweflige Säure bei 3, Chlor bei 4 Atm.); bei anderen ist bedeutende Abkühlung und starker Druck erforderlich. Durch letz-

teren allein ist die Verflüssigung nicht zu erreichen (die permanenten Gase werden bei 3000 Atm. Druck noch nicht flüssig), da es für jeden Dampf eine sogen. „kritische Temperatur“ giebt, oberhalb welcher er bei noch so grofsem Druck dampfförmig bleibt. Die Kondensation des Dampfes ist mithin nur dann möglich, wenn seine Temperatur unter der kritischen liegt; erst nachdem man die permanenten Gase unter ihre kritische Temperatur abkühlte (Sauerstoff z. B. bis unter — 118⁰), gelang auch die Verflüssigung derselben. Man kann demnach jeden luftförmigen Körper bei einer Temperatur unterhalb der kritischen als **Dampf** und oberhalb derselben als **Gas** bezeichnen.

Übungsstoff. 1. Welchen Einflufs übt eine Temp.-Veränderung a. auf Gase, b. auf gesättigte Dämpfe aus, wenn der Raum derselbe bleibt, und welchen Einflufs übt eine Verkleinerung des Raumes aus, wenn die Temp. dieselbe bleibt? — 2. Sind die Dämpfe in einem Dampfkessel gesättigt oder ungesättigt? — 3. Wie werden sich die von einem lufterfüllten und einem ebenso grofsen luftverdünnten Raume a. in sehr kurzer Zeit, b. in längerer Zeit aufgenommenen Dampfmengen zu einander verhalten? — 4. Inwiefern ist es für die Verwendung des Qu. in Barometern sehr günstig, dafs Qu.-Dämpfe bei gewöhnlicher Temp. eine äufserst geringe Spannung haben? (Bisweilen sieht man in der Torricellischen Leere Qu.-Tropfen am Glase hängen; Einflufs auf den Barometerstand?) — 5. Der kurze Schenkel der Manometerröhre, Fig. 289, sei etwas erweitert und in seinem oberen Teile ganz mit W. gefüllt. Wie liefse sich dann die Spannung der Dämpfe für Temperaturen über 100⁰ bestimmen? (Dampfbarometer.) — 6. Wievielmal so leicht ist gesättigter Wasserdampf von 100⁰ als atm. Luft von 0⁰ bei einem Drucke von 760 mm? (§ 88.) — 7. 1 cbm Luft von 0⁰ werde bei unverändertem äufseren Drucke (760 mm) auf 100⁰ und auf 121⁰ erwärmt. Welchen Raum nimmt die Luft bei diesen Temperaturen ein, und wie verhalten sich die Spannungen zu der Spannung gesättigter Wasserdämpfe von 100⁰ und 121⁰? — 8. Vergl. die Spannungen gesättigter Wasserdämpfe und Luft von 180⁰. Was folgt hieraus für die Verwendbarkeit von Luft und Wasserdämpfen zu Kraftmaschinen? — 9. Wv. W. mufs verdampft werden, damit 1 cbm gesättigter Wasserdampf von 2, 6 und 10 Atm. Spannung entsteht?

§ 123. Die Dampfmaschine.

1. Geschichtliche Entwickelung. Die ersten Versuche, die Spannkraft des Wasserdampfes als bewegende Kraft zu verwenden, wurden schon im Altertum gemacht: *Heron von Alexandrien* (wahrscheinlich im 2. Jahrh. v. Chr.) erfand einen Apparat, bei dem durch den Rückstofs ausströmenden Dampfes eine Hohlkugel von Metall in Umdrehung versetzt wurde (vergl. das Segnersche Wasserrad, Fig. 53). Es vergingen jedoch noch mehr als 1½ Tausend Jahre, ehe sich die Erkenntnis Bahn brach, dafs man die im erhitzten Wasserdampf verborgene Kraft zum Ersatz menschlicher und tierischer Arbeitskraft verwenden könne und ehe man Vorrichtungen zur zweckmäfsigen Ausnutzung der Dampfkraft konstruieren lernte. Von den verschiedenen Erfindungen, welche zu diesem Zwecke gemacht wurden, hat nur diejenige eine hervorragende Bedeutung erlangt, bei welcher durch die abwechselnde Wirkung von Wasserdampf und atmosphärischer Luft und später durch Wasserdämpfe allein eine *Kolbenbewegung* zustande gebracht wurde.

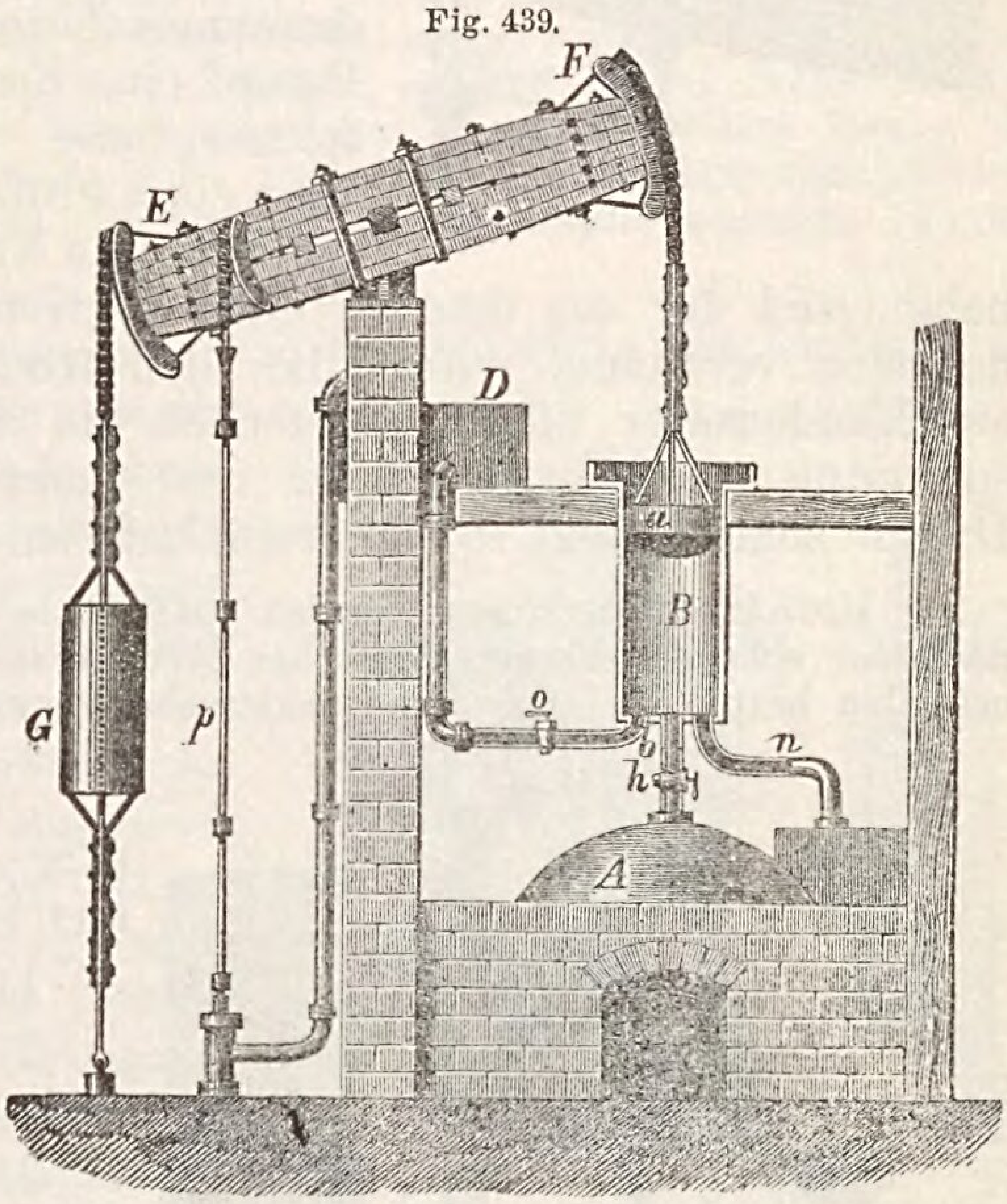
Gegen Ende des 17. Jahrhunderts (1690) gelang es *Papin* in Marburg, in einem oben offenen Cylinder einen Kolben dadurch auf- und abzubewegen, dafs er abwechselnd Wasser unter dem Kolben erhitzte und den Cylinder darauf von aufsen wieder abkühlte (vergl. Fig. 111). Der Kolben wurde darauf zunächst durch die Dämpfe gehoben und dann durch die atm. Luft wieder niedergedrückt.

Von der praktischen Ausführung seiner Maschine wurde Papin durch ungünstige äufsere Verhältnisse abgehalten.

Die ersten Versuche, die Dampfmaschine in das praktische Leben einzuführen, waren schon einige Zeit vorher in England gemacht worden; aber erst durch *New-*

comen (spr. Njukö'men) erhielt dieselbe die für einen derartigen Zweck geeignete Form (1705). Die Maschine von Newcomen war eine sogen. **atmosphärische Maschine,** durch welche das Papinsche Verfahren im grofsen angewandt wurde. Die Erzeugung der Dämpfe geschah in einem besonderen Kessel (A, Fig. 439), die Abkühlung derselben im Cylinder B durch Einspritzen von kaltem Wasser, nachdem der Kolben durch die Dämpfe und ein Gegengewicht (G) gehoben war. Das rechtzeitige Einströmen des Dampfes und des Kühlwassers wurde durch das abwechselnde Öffnen und Schliefsen zweier Hähne (h und o) vermittelt. Eine Wippe (EF) diente dazu, die Kolbenbewegung auf die Last zu übertragen, und setzte gleichzeitig eine Pumpe in Bewegung, durch welche das zum Abkühlen erforderliche Wasser in einen hoch gestellten Behälter (D) gehoben wurde, von wo es durch eine Röhre in den Cylinder gelangte. Durch die Röhre n wurde das Wasser aus dem Cylinder entfernt. Auf dem Kolben befand sich eine Schicht Wasser, um gegen die Cylinderwandung einen dampfdichten Verschlufs herzustellen. — Die Newcomenschen Maschinen wurden namentlich in England zur Hebung des Wassers in den dortigen Steinkohlengruben angewandt. Eine wesentliche Verbesserung derselben war die Selbststeuerung, welche darin bestand, dafs das Öffnen und Schliefsen der Hähne von der Maschine selbst besorgt wurde. (Die Selbststeuerung wurde von *Potter* 1713 erfunden.)

Fig. 439.



Durch die Umgestaltung, welche die atmosphärische Maschine späterhin durch *Watt* erfuhr, ist aus derselben die Dampfmaschine der Gegenwart entstanden. Die wichtigsten der von *Watt* in den Jahren 1765—1785 erfundenen Verbesserungen sind folgende:

1. Um den mit der Abkühlung des Cylinders verbundenen Wärmeverlust zu vermeiden, leitete *Watt* die Dämpfe zur Abkühlung in einen mit kaltem Wasser gefüllten Behälter, Kondensator, in welchem das erwärmte Wasser fortwährend durch kaltes Wasser ersetzt wurde (1765).

2. *Watt* stellte Cylinder her, die an beiden Enden geschlossen waren, in denen also nur der Dampfdruck auf den Kolben einwirken konnte. Dadurch wurde der Luftdruck ausgeschlossen und die atmosphärische Maschine somit in eine einfach wirkende Dampfmaschine verwandelt (1769).

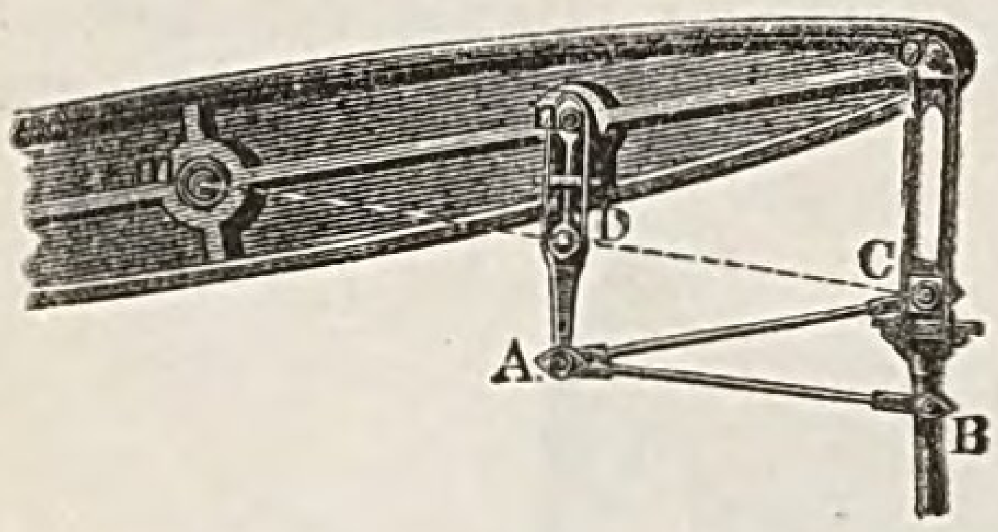
3. Um die Nutzleistung der Maschine zu erhöhen, liefs *Watt* die Dämpfe auf beide Seiten des Kolbens abwechselnd mit gleicher Kraft einwirken und erfand so die doppeltwirkende Maschine (1782).

4. Ferner verwandelte er die geradlinige Bewegung des Kolbens dadurch in eine drehende, dafs er das vom Cylinder abgewandte Ende der Wippe durch eine Kurbel zur Umdrehung einer mit Schwungrad versehenen Welle benutzte, mit welcher die in Thätigkeit zu setzenden Arbeitsmaschinen in geeigneter Weise verbunden wurden. So entstand eine Maschine, welche eine vielseitigere Verwendung gestattete.

5. Um auch eine bessere Geradführung der mit der Wippe verbundenen Kolbenstange zu bewirken, schaltete *Watt* zwischen beiden eine sinnreiche Stangenverbindung ein von der Form eines Parallelogrammes, dessen Ecken Gelenke bildeten (Fig. 440, folg. Seite): *Wattsches Parallelogramm* (1784).

Durch diese wichtigen Erfindungen, zu denen noch der Centrifugalregulator und später (etwa 1790) die Schiebersteuerung hinzukam, gab *Watt* der Dampfmaschine eine Gestalt, die sie im wesentlichen jetzt noch hat.

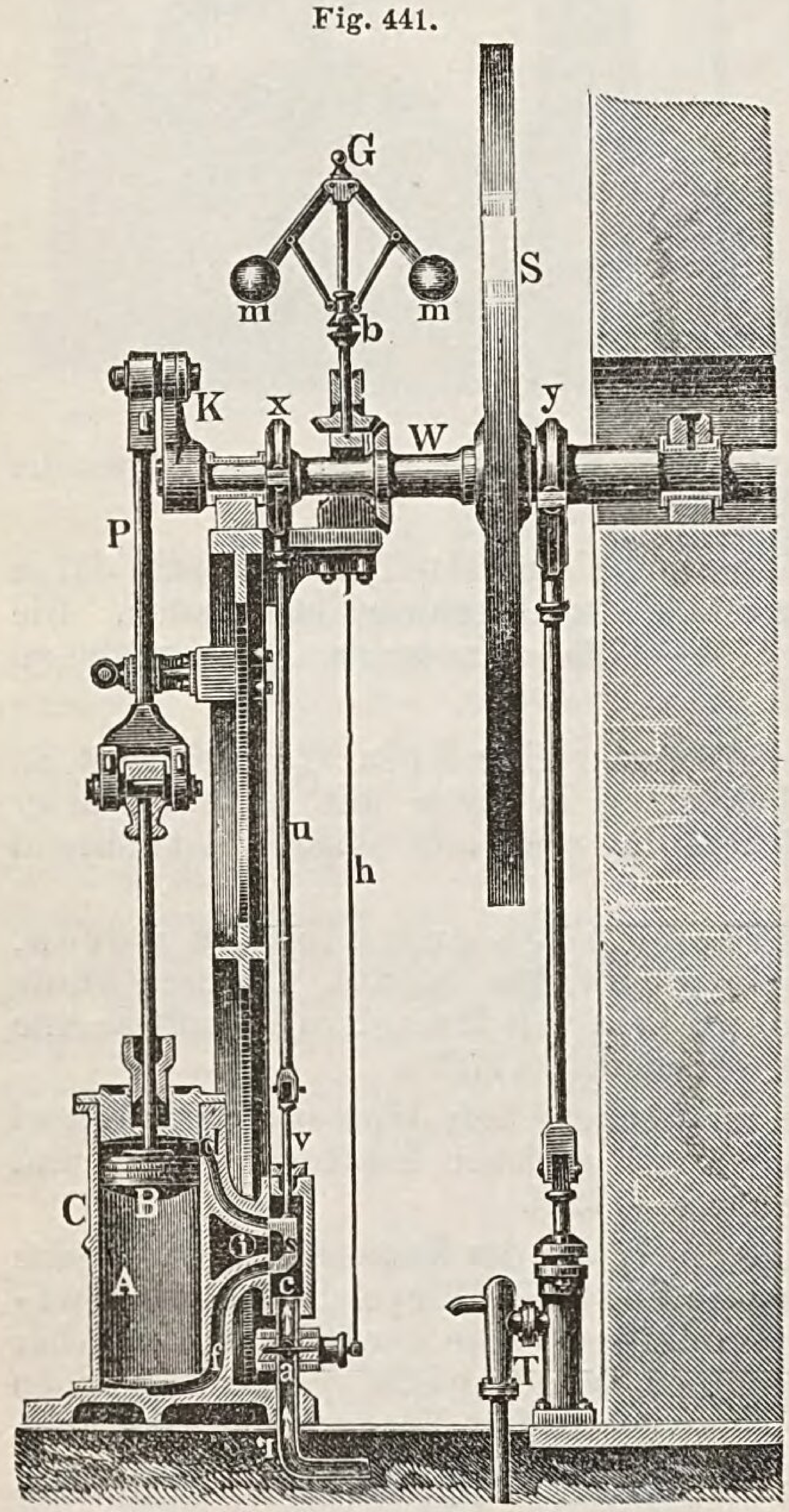
Fig. 440.



Die Wattschen Maschinen waren **Niederdruckmaschinen,** d. h. solche, bei denen der Dampf eine Spannung von höchstens $1\frac{1}{2}$ Atmosphären hatte. Niederdruckmaschinen sind nur dann einer gröfseren Arbeitsleistung fähig, wenn Cylinder und Kolben einen grofsen Durchmesser haben und der aus dem Cylinder austretende Dampf durch einen Kondensator verdichtet wird. Bei den **Hochdruckmaschinen** dagegen ist ein Kondensator nicht erforderlich, da sie mit einer höheren Dampfspannung (neuerdings bis 12 und mehr Atmosph.) arbeiten und der Dampf somit direkt in die freie Luft entweichen kann.

Hochdruckmaschinen werden seit Ende des vorigen Jahrhunderts gebaut, nachdem schon 1725 ein deutscher Mechaniker *Leupold* eine Hochdruckmaschine erfunden hatte, die aber keine praktische Verwendung fand.

Fig. 441.



2. Eine **Hochdruckmaschine** (Fig. 441) besteht im wesentlichen aus folgenden Teilen:

1) aus dem *Dampfkessel;*

2) aus dem *Cylinder* (C) mit *Kolben* (B);

3) aus der *Kurbel* (K), welche durch die Pleuelstange (P) mit der Kolbenstange gelenkartig verbunden ist;

4) aus der *Steuerung,* welche das abwechselnde Ein- und Austreten des Dampfes zur Bewegung des Kolbens vermittelt. Hauptteile derselben: der Schieber (s) und die auf der Kurbelwelle befestigte excentrische Scheibe (x);

5) aus dem auf der Kurbelwelle befestigten *Schwungrade* (S), das den Zweck hat, einen gleichförmigen Gang der Maschine zu bewirken;

6) aus dem *Regulator* (G), welcher das Schwungrad in seiner Wirkung dadurch unterstützt, dafs er bei seiner Abnahme der Bewegung etwas mehr, bei einer Zunahme der Bewegung dagegen weniger Dampf in den Cylinder eintreten läfst.

Der **Dampfkessel** besteht aus zusammengenieteten Platten von Schmiedeeisen. Die Heizfläche wird möglichst grofs hergestellt, damit die Dampfbildung

schnell erfolgt; bei Lokomotiven z. B. läfst man die Feuerluft durch sogen. *Rauchrohre* (eiserne Röhren) streichen, welche den Wasserraum des Kessels seiner ganzen Länge nach durchziehen.

Zur Speisung des Kessels dient gewöhnlich eine *Druckpumpe*, welche durch die Maschine selbst in Bewegung gesetzt wird (T, Fig. 441). Der *Wasserstandsanzeiger* des Kessels ist entweder ein einfaches Wasserstandsglas (§ 15), oder ein Schwimmer, welcher durch eine luftdicht in den Kessel hinabreichende Stange auf einen über demselben befestigten Hebel einwirkt. — Zum Messen des Dampfdruckes dienen *Manometer* (Seite 207). Um einem übermäfsigen Dampfdrucke vorzubeugen, ist jeder Dampfkessel mit einem *Sicherheitsventile* versehen (Kesselprobe: Seite 191).

Der **Cylinder** und die **Steuerung** (Fig. 442 und 443). Der im Kessel erzeugte Dampf wird durch ein Rohr zunächst in den *Schieberkasten* geleitet, dessen Innenraum (c) die *Dampfkammer* heifst. Der vom Schieberkasten überdeckte Teil der Cylinderwand enthält zwei Kanäle (d und f), durch welche je nach der Stellung des *Schiebers* der Dampf abwechselnd in den Cylinder einströmen und aus demselben wieder ausströmen kann. Hat der Schieber die in Fig. 442 angegebene Stellung, so kann durch den unteren Kanal frischer Dampf in den Cylinder eintreten, durch den oberen Kanal (d) dagegen der gebrauchte Dampf aus dem Cylinder wieder austreten und durch ein in den Hohlraum des Schiebers mündendes Rohr (i) nach aufsen gelangen. (Erkläre Fig. 443).

Fig. 442.

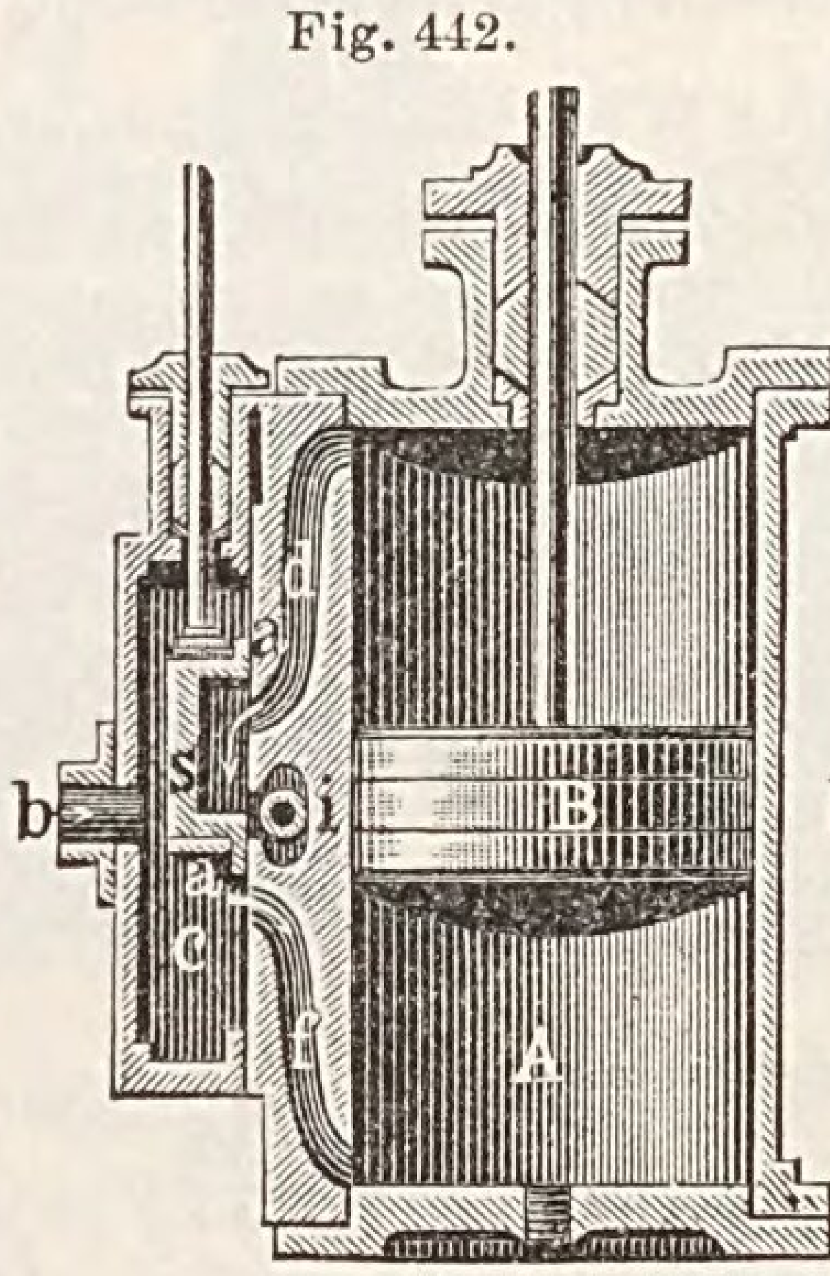
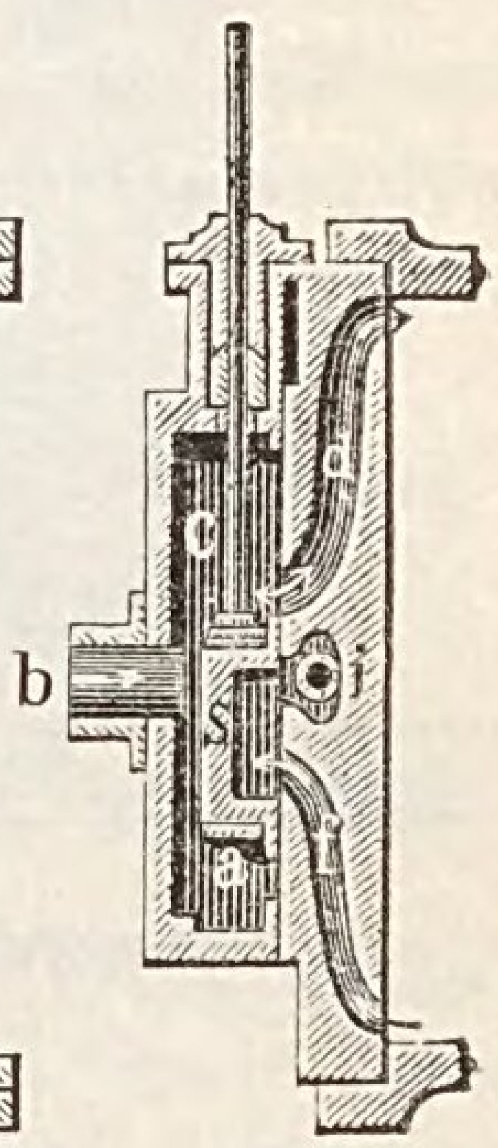
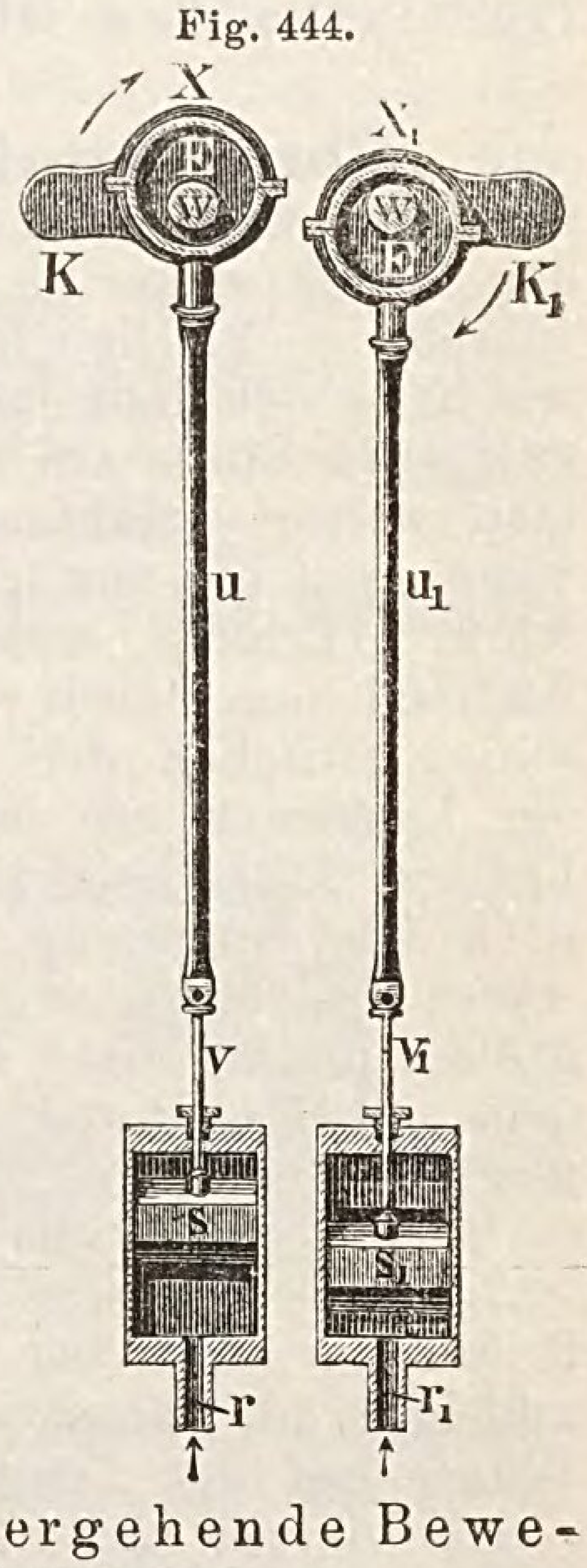


Fig. 443.



Die Schiebersteuerung ist die gebräuchlichste. Bei den meisten Maschinen läfst man den Schieber bei seiner Bewegung dem Kolben etwas voraneilen, sodafs beide Dampfkanäle schon ein wenig geöffnet sind, wenn der Kolben seine Hin- oder Rückbewegung beginnt. Der Dampf kann dann beim Steigen des Kolbens sofort seine volle Wirkung auf denselben ausüben und zugleich wird das Anschlagen des Kolbens an den Cylinder verhütet, da der schon eingeströmte Gegendampf wie ein elastisches Kissen wirkt. Wird der Dampfzuflufs schon abgesperrt, wenn der Kolben erst einen Teil seines Weges zurückgelegt hat, so kommt noch die Expansionsfähigkeit des abgesperrten Dampfes zur Wirkung; Maschinen mit dieser Einrichtung heifsen deshalb Expansionsmaschinen. Eine neuerdings angewendete Verbesserung derselben besteht darin, dafs man den Dampf aus dem Hochdruckcylinder nicht ins Freie entweichen, sondern in einem gröfseren Niederdruckcylinder nochmals durch Expansion wirken läfst (Compound- oder Verbundsystem).

Fig. 444.

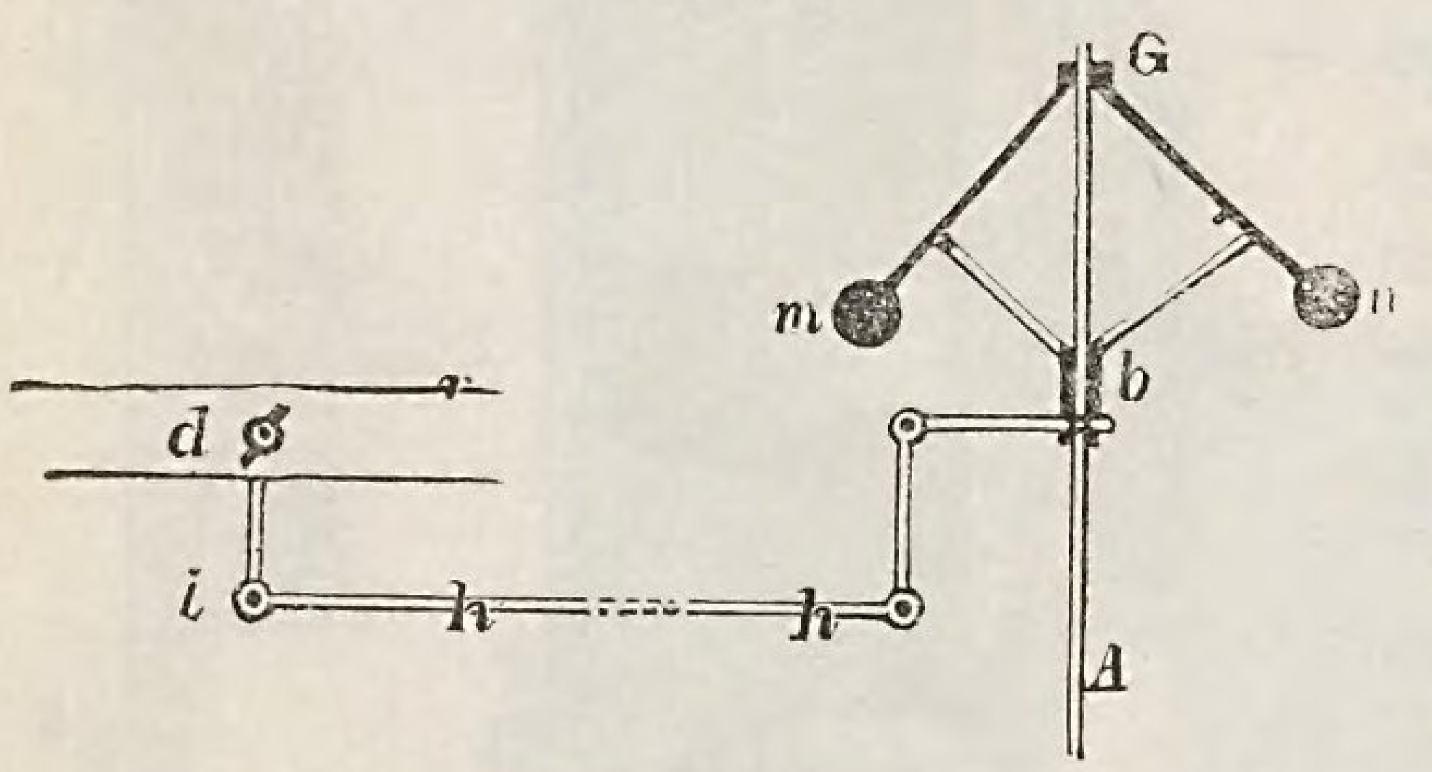


Die **Kurbel** und die **excentrische Scheibe**. Beide sind an der Schwungradwelle befestigt. Die Kurbel dient dazu, die geradlinige Bewegung des Kolbens in eine drehende zu verwandeln; die excentrische Scheibe dagegen (Fig. 444) macht mittelst des sie umschliefsenden Ringes (x und x_1) aus der drehenden eine hin- und hergehende Bewegung und überträgt diese durch die Stange (u) auf den Schieber (s).

9. Das **Schwungrad.** Bei demselben kommt die Trägheit der Masse (§ 78) praktisch zur Verwendung, indem es, einmal in Umlauf gebracht, die Maschinenteile ohne Dampfkraft noch eine Zeitlang in ihrer Bewegung zu erhalten vermag. Es dient daher 1. zur Überwindung der toten Punkte, d. h. derjenigen Kurbelstellungen, bei denen Kurbel und Pleuelstange eine einzige gerade Linie bilden; 2. zur Aufhebung der Ungleichheiten der Bewegung, die sich bei jedem Kolbenspiel aus den verschiedenen Richtungen ergeben, welche die Pleuelstange gegen die Kurbel einnimmt (§ 65, Übungsstoff 11); 3. zur Beseitigung der Unregelmäfsigkeiten, welche durch die Zu- und Abnahme der Widerstände hervorgerufen werden. Letzteres kann durch das Schwungrad allerdings nur insofern bewirkt werden, als es eine plötzliche Vergröfserung oder Verkleinerung der Geschwindigkeit verhindert.

Haben die Widerstände andauernd das Übergewicht über die bewegende Kraft der Maschine oder umgekehrt, so tritt der **Centrifugalregulator** in Thätigkeit, welcher auf der Wirkung der Centrifugalkraft (§ 76) beruht. Die Achse desselben

Fig. 445.



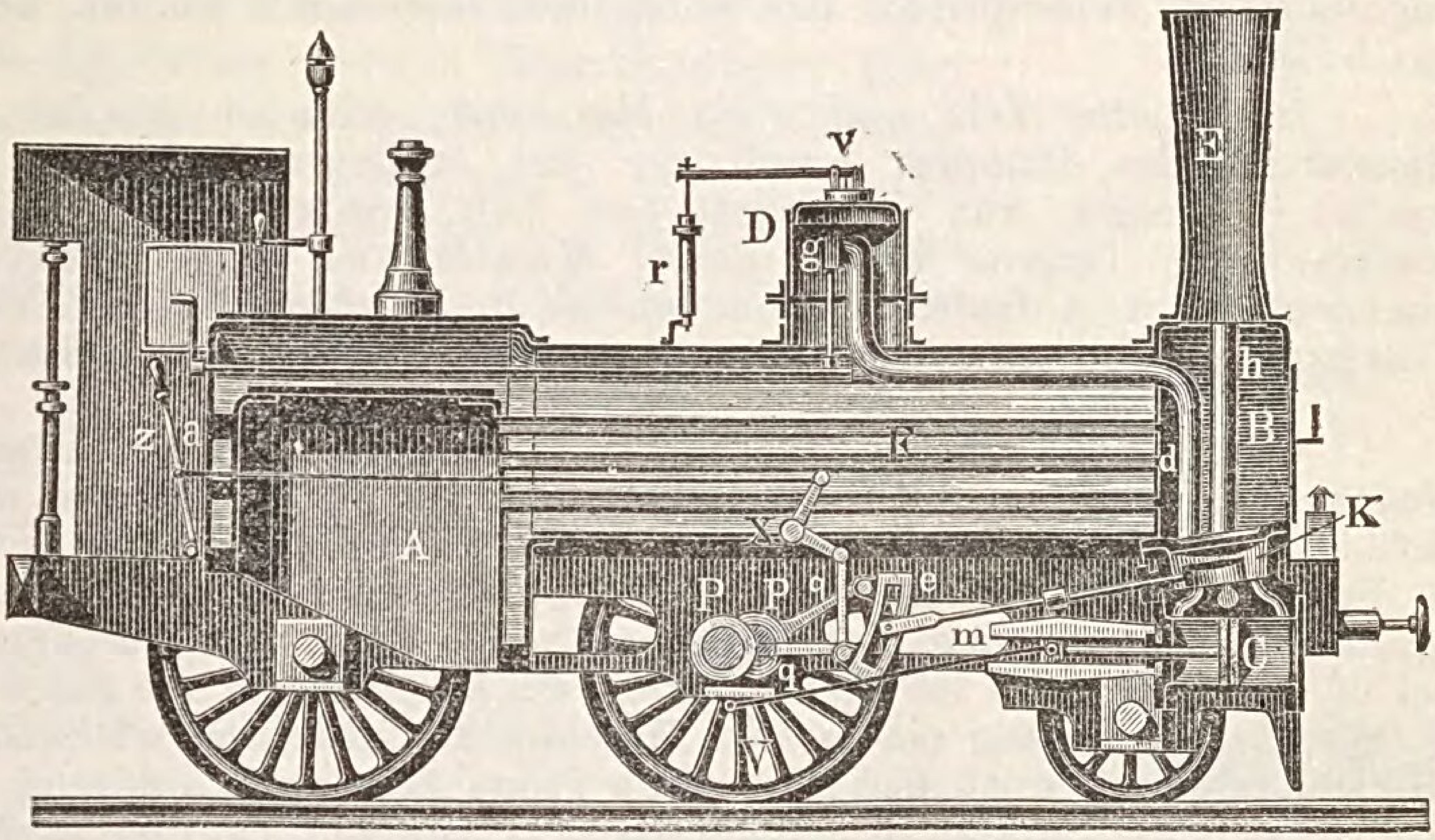
(AG, Fig. 445) ist mit der Welle des Schwungrades so in Verbindung gebracht, dafs sie an allen Bewegungen desselben teilnimmt. Geht die Maschine zu schnell, so ziehen die Arme (m) eine Hülse (b) an der Achse hinauf, wodurch ein Winkelhebel in Bewegung gesetzt wird, welcher mittelst einer Verbindungsstange (h) die im Dampfzuleitungsrohre befindliche *Drosselklappe* (d) so dreht, dafs das Rohr weniger Dampf hindurchläfst, und umgekehrt. Der Centrifugalregulator reguliert also den Dampfzutritt.

Übungsstoff. 1. Zum Heben von W. soll aus einer Kochflasche, einer Glasröhre und einem Korke ein Apparat hergestellt werden, mit welchem W. durch den Druck seiner eigenen Dämpfe gehoben werden kann. Wie ist dies auszuführen? — 2. Die Glasröhre sei durch einen Hahn über dem Gefäfse verschliefsbar; wie liefse sich dann mittelst einer zweiten Glasröhre die leere Flasche von einer tiefer gelegenen Stelle aus durch den Luftdruck wieder mit W. füllen? — 3. Wie könnte man weiter verfahren, um das in der Flasche enthaltene W. abermals zu heben, wenn auch die abwärts führende Röhre nahe am Gefäfse mit einem Hahn versehen wäre? (Princip, welches (vor der Erfindung der atm. Maschine) von *Savery* in England zum Heben von Grubenwasser angewandt wurde.) — 4. Wesentlicher Unterschied zwischen der atm. Maschine und der Dampmaschine? — 5. Wie grofs ist der Luftdruck auf den Kolben einer atm. Maschine, wenn der Durchmesser des Kolbens 1,2 m beträgt und wie grofs der Überdruck, wenn die abgekühlten Dämpfe noch eine Spannung von 0,1 Atm. haben? — 6. Die Cylinder der atm. Maschinen waren bedeutend weiter (bis über 1,5 m), der Durchmesser des Kolbens also viel gröfser als bei einer Dampfmaschine. Zweck? — 7. Welchen Druck erleidet jedes qcm der Kesselwand, wenn das W. a. 144°, b. 180° C heifs ist und welchen Vorteil gewährt die Vergröfserung der Heizfläche? — 8. Durch das Öffnen des Dampfraumes (z. B. beim Heben des Sicherheitsventils) tritt eine um so lebhaftere und mit Stöfsen verbundene Dampfbildung ein, je höher die Spannung der Dämpfe ist. Erkl.! — 9. Warum ist es bei zu niedrigem Wasserstande mehr zu empfehlen, das Feuer zu mäfsigen, als Dampf abströmen zu lassen? (Siedeverzug.) — 10. Einflufs des Kesselsteines auf den Temperaturausgleich zwischen Kesselwand und W. und Nachteile, welche daraus hervorgehen? — 11. Der Dampfcylinder wird mit einem Blechmantel umgeben, der Zwischenraum mit Asche, Kieselguhr u. dgl. ausgefüllt; oder man läfst

den Kesseldampf, ehe er in den Cylinder eintritt, hindurchströmen; w.? — 12. Damit der Schieber dem Excenter voraneilen kann, mufs letzterer mit der Kurbel einen Winkel bilden, welcher etwas gröfser ist als 90⁰. Erkl.!

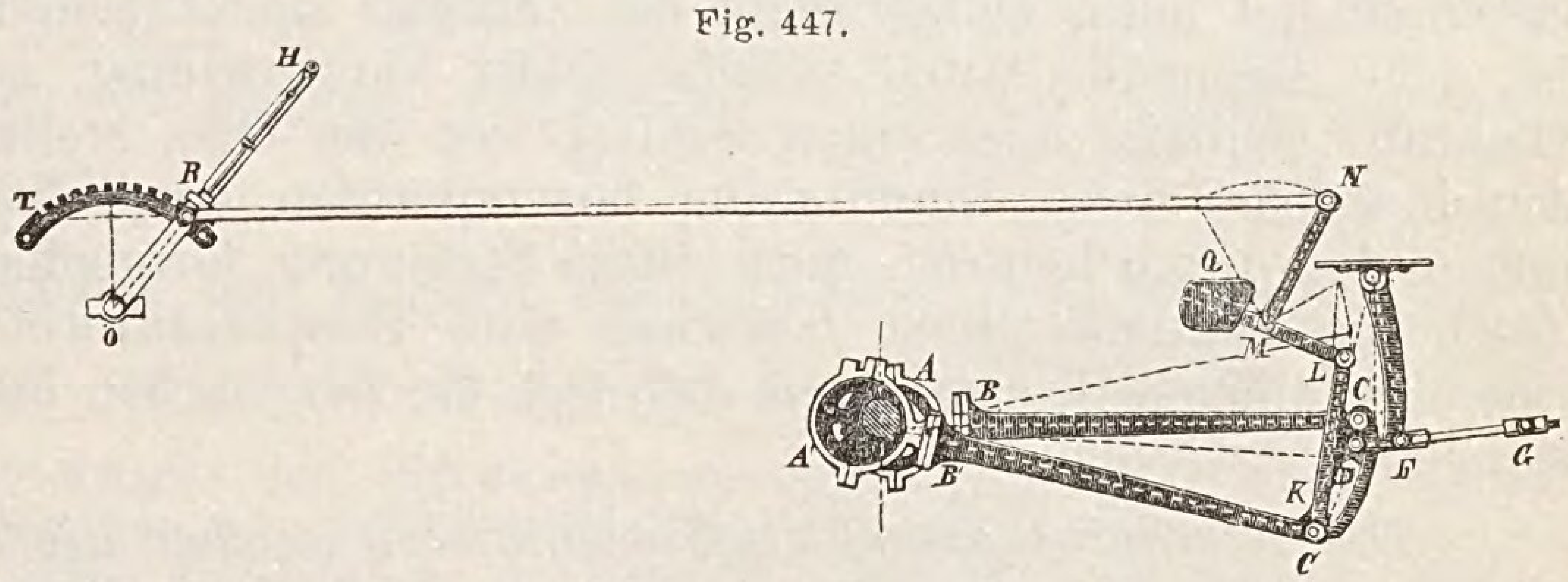
§ 124. Die Dampfmaschine. (Fortsetzung.) Eine besonders wichtige Hochdruckmaschine ist die **Lokomotive** (Fig. 446). Dieselbe hat *2 Cylinder mit je einem Schieberkasten* und 2 oder mehr grofse *Triebräder,* auf deren Welle sich die Arbeit des Dampfes zunächst überträgt. Auf dem Dampfkessel ist, um zu verhüten, dafs durch die Erschütterung während der Fahrt Wasser in das Dampfrohr eindringe, ein *Dampfdom* (D) angebracht, d. h. ein e r h ö h t e r D a m p f r a u m, i n w e l c h e n d a s D a m p f r o h r e i n m ü n d e t. Die hoch über dem Wasserspiegel gelegene Mündung (g) des Dampfrohres kann durch den Maschinisten von aufsen verschlossen werden. Ein Sicherheitsventil (v) dient dazu, bei zu hoher Dampfspannung dem Dampfe einen Ausweg zu verschaffen. Ein eigentliches Schwungrad fehlt den Lokomotiven. Dasselbe wird durch die *Triebräder* ersetzt, und aufserdem trägt das Beharrungsvermögen der ganzen sich fortbewegenden Masse wesentlich dazu bei, die Bewegung gleichförmig zu machen. I n d e r Ü b e r w i n d u n g d e r b e i d e n t o t e n P u n k t e u n t e r s t ü t z e n s i c h d i e b e i d e n r e c h t w i n k l i g z u e i n a n d e r g e r i c h t e t e n T r i e b r a d k u r b e l n g e g e n s e i t i g.

Fig. 446.



Zur **Umsteuerung der Maschine** befinden sich auf der Achse der beiden grofsen Triebräder *zwei excentrische Scheiben* (A und A_1, Fig. 447) in entgegengesetzten Stellungen, deren Stangen an ihren äufseren Enden mit einem Steuerrahmen (sogen. *Coulisse*) gelenkartig verbunden sind (CC_1). In letzterem gleitet ein an der Lenkstange befestigter *Zapfen,* sodafs die eine oder andere der beiden excentrischen Scheiben je nach Erfordernis auf die Steuerung einwirken kann. Dies

Fig. 447.



wird vom Maschinisten durch ein *Gestänge* bewerkstelligt, dessen eines Ende mit dem Steuerrahmen so verbunden ist, dafs derselbe sich mit den beiden Stangen der excentrischen Scheiben heben und senken läfst. Diese Art der Umsteuerung wird als Coulissensteuerung bezeichnet.

Die Lokomotive wurde 1826 von *Stephenson* in England erfunden. Das erste Dampfschiff baute *Fulton* in Amerika (1807).

Kleine Hochdruckmaschinen, welche zum Betriebe von Dreschmaschinen, Centrifugalpumpen, Feuerspritzen u. s. w. vielfach angewandt werden, nennt man Lokomobilen.

In neuerer Zeit sind auch Maschinen erfunden worden, bei denen die Spannkraft des Dampfes durch die der erhitzten Luft oder eines explodierenden Gemenges von Leuchtgas und Luft ersetzt wird. Die Maschinen der ersteren Art (sogen. kalorische Maschinen oder Heifsluftmotoren) sind weniger in Aufnahme gekommen als die letzteren, welche unter dem Namen Gaskraftmaschinen oder Gasmotoren im Kleingewerbe vielfach benutzt werden.

Übungsstoff. 1. Warum sind bei Lokomotiven Sicherheitsventile mit Federbelastung denen mit Gewichtsbelastung (siehe Fig. 432) vorzuziehen? — 2. Wie läfst sich durch den Steuerhebel HO, Fig. 447, die Umsteuerung bewirken? Erkl.! — 3. Bei einer Hochdruckmaschine ohne Kondensation habe der Dampf während der ganzen Kolbenbewegung eine Spannung von 6 Atm., der Durchmesser des Kolbens sei 30 cm. Wie grofs ist der Überdruck des Dampfes auf die ganze Kolbenfläche? — 4. Wv. Arbeit vermag eine solche Maschine zu leisten a. während einer einfachen Kolbenbewegung, wenn der Kolbenhub 70 cm beträgt, b. während 1 Sek., wenn der Kolben sich in 1 Minute 40 mal hin- und herbewegt? (in Pferdekräften?) — 5. Wv. Nutzarbeit verrichtet die Maschine, wenn 0,6 der berechneten Arbeit nutzbar gemacht werden kann? — 6. Weshalb kann man behaupten, dafs die Verwandlung von Wärme in Arbeit durch die Dampfmaschine nur in sehr unvollkommener Weise stattfindet (bei den besten Dampfmaschinen wird etwa $\frac{1}{8}$ der an den Kessel abgegebenen Wärme in Arbeit umgesetzt) und welche Dampfmaschine würde die vollkommenste sein? (Vergl. auch § 146.)

B. Fortpflanzung der Wärme.

(Siehe §§ 34 und 35.)

§ 125. Wärmestrahlung. Gewisse Erscheinungen lassen darauf schliefsen, dafs es aufser der Wärmeleitung und der Verbreitung der Wärme durch Strömung noch eine andere Art der Wärmefortpflanzung geben mufs. Wenn man z. B. in die Glut eines Ofens sieht, so empfindet man, selbst wenn der Luftzug stark nach innen gerichtet ist, eine stechende Hitze, welche sofort verschwindet, sobald man die Ofenthür schliefst oder einen Schirm vor den Ofen stellt. Die Wärme, durch welche diese Empfindung hervorgerufen wird, kann vom Feuer aus weder durch Leitung, noch durch Strömung fortgepflanzt werden. — Auch die Sonnenstrahlen bewirken eine Temperaturerhöhung der von ihnen getroffenen Körper, ohne dafs sich die dazwischen befindlichen Luftschichten erwärmen.

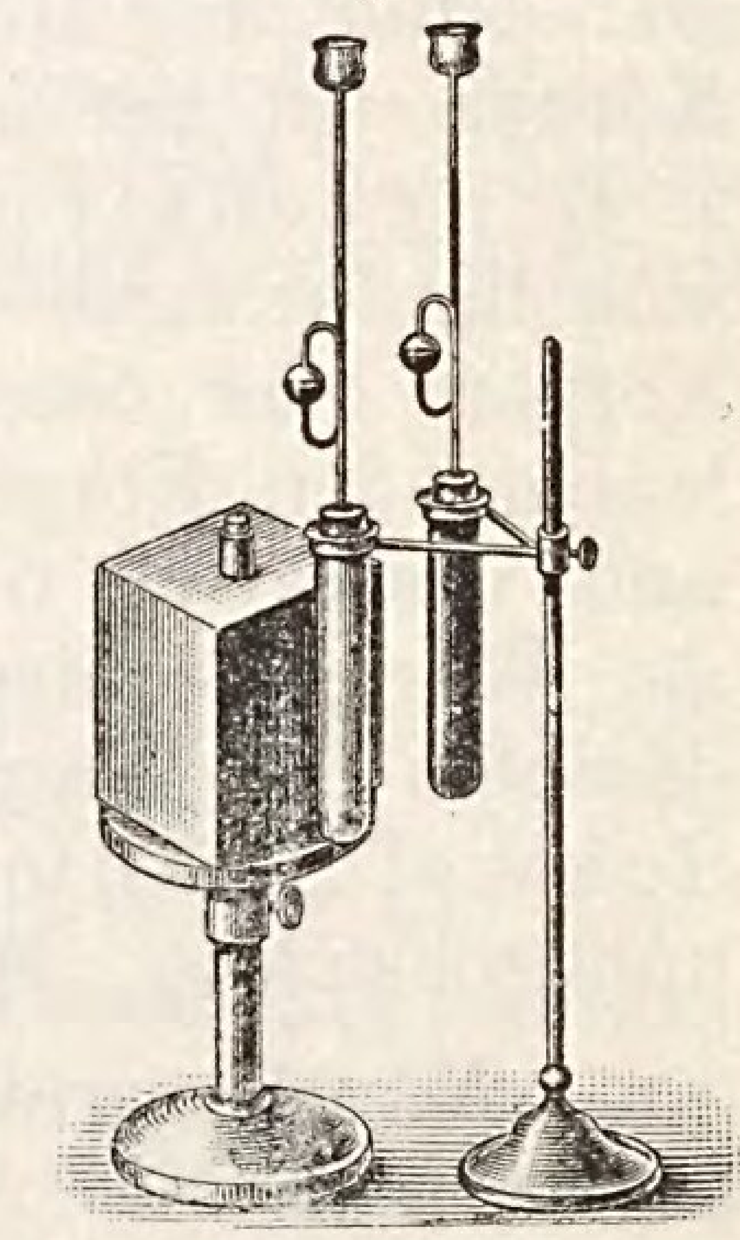
Die Art der Wärmefortpflanzung, bei welcher die Temperatur der zwischen der Wärmequelle und dem erwärmten Körper befindlichen Körper nicht steigt, heifst **Wärmestrahlung.**

Der Körper, auf welchen Wärme durch Strahlung übergeht, absorbiert oder verschluckt die strahlende Wärme.

Die tägliche Erfahrung lehrt, dafs die strahlende Ofenwärme durch Blechschirme, die Zimmerwärme durch die Fensterscheiben zurückgehalten werden kann, während sie durch die Luft hindurchgeht, ferner dafs die geschwärzten Eisenplatten geheizter Öfen viel mehr Wärme ausstrahlen als glänzende Kacheln, dafs wir in dunklen Kleidern die strahlende Wärme der Sonne mehr empfinden als in hellen Kleidern u. s. w.

* **Versuch.** Eine dunkle Wärmequelle, etwa die berufste Seite eines mit kochendem Wasser gefüllten, verschlossenen Blechgefäfses wird 2 Thermoskopen (Fig. 448) gegenüber gestellt; es ist keine merkliche Temp.-Erhöhung wahrzunehmen, wenn man eine durchsichtige Glasscheibe einschaltet. — Entfernt man aber die Scheibe, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre des geschwärzten Thermoskopes bedeutend schneller als in dem anderen. Das Steigen der Flüssigkeit in beiden Thermoskopen hört fast ganz auf, wenn man ihnen die blanke Seite des Gefäfses zuwendet.

Fig. 448.



Der Versuch zeigt, dafs Glas Wärmestrahlen nicht hindurchgehen läfst, und dafs sowohl die Wärmestrahlung, als auch die Absorption strahlender Wärme von der Oberflächenbeschaffenheit der Körper abhängt. (Inwiefern?) — Untersuchungen, welche sich mittelst grofser Hohlspiegel und geeigneter Linsen unter Benutzung äufserst empfindlicher Thermoskope (Thermomultiplikator, § 144) ausführen lassen, ergeben:

Wärmestrahlen verbreiten sich nach denselben Gesetzen wie Lichtstrahlen*); dieselben sind aber zum Teil nicht leuchtend und an sich nicht warm.

Ein warmer Körper sendet wie ein leuchtender Körper nach allen Seiten geradlinig Strahlen aus, welche ebenso wie Lichtstrahlen zurückgeworfen, gebrochen oder absorbiert werden können.

Das Vermögen der Körper, Wärme auszustrahlen, hängt bei gleicher Temperatur namentlich von der Beschaffenheit der Oberfläche ab. — Glatte metallische Flächen strahlen am wenigsten Wärme aus, mit Rufs bedeckte Flächen am meisten, dunkle und rauhe im allgemeinen mehr als helle und glatte.

Das Vermögen der Körper, strahlende Wärme zu absorbieren, ist um so gröfser, je gröfser ihr Austrahlungsvermögen ist.

Das Strahlungs- und Absorptionsvermögen von Rufs ist ungefähr 10 mal so grofs als das von polierten Metallen. Werden kalte Metallflächen mit Lack, Firnis oder dergl. überstrichen, so nimmt ihr Vermögen, Wärme auszustrahlen und zu absorbieren, stark zu. — Dafs Wasser bei starker Strahlung weit langsamer erkaltet als der feste Boden, hat seinen Grund wesentlich in der hohen specifischen

*) Vergl. § 146.

Wärme des Wassers. Zur Erwärmung wie zur Abkühlung des Wassers ist daher unter sonst gleichen Bedingungen mehr Zeit erforderlich.

Genaue Untersuchungen über die Durchlässigkeit der Körper für Wärmestrahlen haben zu dem Ergebnis geführt, dafs manche durchsichtige Körper für dunkle Wärmestrahlen mehr oder weniger undurchlässig sind und umgekehrt manche undurchsichtige Körper Wärmestrahlen durchlassen. Es giebt aber auch Körper, welche sowohl Licht- als Wärmestrahlen durchlassen oder für beide undurchlässig sind. Der Grad der Durchlässigkeit kann ferner bei einem und demselben Körper von der Beschaffenheit der Wärmequelle abhängig sein. So läfst z. B. durchsichtiges Glas die Sonnenwärme ziemlich leicht durch sich hindurchgehen, viel weniger gut aber die Wärme eines glühenden Körpers oder einer Flamme und noch weniger die Wärme eines nicht leuchtenden Körpers. Ähnlich verhält sich z. B. Gips, Alaun, Eis und Wasser. Steinsalz und trockene Luft lassen sowohl Licht- als Wärmestrahlen durch. Luft wird durch Aufnahme von Wasserdämpfen für Wärmestrahlen undurchlässiger. Eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff läfst die Wärmestrahlen hindurch, ist aber undurchsichtig. Metalle lassen weder Licht noch Wärmestrahlen durch.

Körper, welche die Wärmestrahlen hindurchlassen, nennt man **diatherman** *oder durchwärmig; diejenigen, welche die Wärmestrahlen absorbieren, werden* **atherman** *oder undurchwärmig genannt.*

Eine eigenthümliche mechanische Wirkung der Wärmestrahlen zeigt die sogen. **Lichtmühle** (Radiometer), ein kleiner luftleerer Glasballon, in welchem 4 auf Kreuzarmen befestigte Aluminiumblättchen, die auf einer Seite mit Rufs geschwärzt sind, bei genügender Bestrahlung sich um eine senkrechte Achse drehen. Die Drehung erfolgt umgekehrt, wenn die Blättchen Wärme ausstrahlen.

Aus der Wärmestrahlung erklärt sich die starke nächtliche Abkühlung, welche der Bildung des *Taues* und *Reifes* vorhergeht (§ 36). Die Erde strahlt Tag und Nacht Wärme gegen den Himmelsraum aus. Da sie nun durch die Sonnenstrahlen nur am Tage Wärme empfängt, so mufs während der Nacht eine Abkühlung ihrer Oberfläche stattfinden. Kurz vor Sonnenaufgang mufs daher die Temperatur am niedrigsten sein. Je klarer und trockener die Luft ist, desto besser läfst sie die Wärmestrahlen durch sich hindurch. Dies hat zur Folge, dafs der feste Boden sich oft um mehrere Grad unter die Lufttemperatur abkühlt. Stehen Wolken am Himmel, so bilden diese einen schützenden Schirm. (Anwendung von Rauchfeuern in Weinbergen.)

Auf dem verschiedenen Verhalten des Glases gegen Licht- und Wärmestrahlen beruhen vielfache Anwendungen im praktischen Leben. Während das Licht ungehindert durch die Fenster in unsere Zimmer eindringt, wird die Ofenwärme durch das Glas zurückgehalten. In ähnlicher Weise erklärt sich die Wirkung der Gewächshäuser und Mistbeete, die Anwendbarkeit gläserner Schirme bei Kaminheizung, der Schutz des Glases gegen die Glut geschmolzener Massen, z. B. in Glashütten, in denen die Mauer des Schmelzofens Glasscheiben enthält, durch welche die Arbeiter in die Glut hineinsehen können, ohne sie nachteilig zu empfinden u. s. w.

Übungsstoff. 1. Warum schwärzt man metallene Heizröhren an der dem Zimmer zugewandten Seite? — 2. Polierte oder vernickelte eiserne Öfen verhalten sich ähnlich wie Kachelöfen; inwiefern? — 3. An welchen Stellen der Kochgefäfse ist das Vorhandensein von Rufs vorteilhaft, und an welchen nachteilig? — 4. Vorteil, metallene Thee- und Kaffeekessel, Cylinder der Dampfmaschinen u. s. w. blank zu erhalten? — 5. An Wänden reifen Trauben, Pfirsiche u. dgl. eher als im Freien; w.? — 6. Äcker und besonders Wiesen kühlen sich in kalten Nächten viel

stärker ab als Wege. Erkl.! — **7.** Wenn man die Kugel eines Therm. mit Rufs schwärzt, so steigt und fällt das Qu. rascher als sonst. Erkl.! — **8.** Blankes Stanniol ist im Brennpunkte einer Linse schwer zu schmelzen. Durch welche Veränderung der Oberfläche wird es leichter schmelzbar? — **9.** Vergl. Fensterglas, W. und Luft hinsichtlich ihres Verhaltens gegen Licht- und dunkle Wärmestrahlen miteinander. — **10.** Eis an den Fenstern unserer Wohnzimmer taut in direktem Sonnenlichte oft schon auf, wenn die Temp. der Umgebung noch unter Null ist. Erkl.! — **11.** Wie erklärt es sich, dafs Eis und Schnee leichter taut, wenn es mit Asche bestreut wird, ferner: dafs dunkle Blätter im Sonnenscheine in das Eis einschmelzen? — **12.** Auf hohen Bergen empfindet man im Sonnenscheine eine stechende Wärme, während die Luft eisig kalt ist. Grund! — **13.** Durch eine Linse von klarem Eise lassen sich brennbare K. im direkten Sonnenlichte entzünden. (Versuch von *Mariotte.*) Erkl.! — **14.** Durch 2 grofse Hohlspiegel soll bewirkt werden, dafs Schiefspulver durch die Wärme einer glühenden Kugel in Abständen von einigen m entzündet wird. Wie ist dies auszuführen?

C. Quellen der Wärme.

§ 126. Die wichtigste Wärmequelle im täglichen Leben ist die *Verbrennung.* Wenn ein Körper in der atm. Luft verbrennt, so vereinigen sich die Grundstoffe desselben mit dem Sauerstoffe der Luft. Eine solche Vereinigung (Oxydation) ist stets von Wärmeentwickelung begleitet. Letztere ist um so bedeutender, je mehr Sauerstoff dabei verbraucht wird. Da dies ein chemischer Vorgang ist, so pflegt man die Verbrennung als eine **chemische Wärmequelle** zu bezeichnen. Damit der Verbrennungsvorgang eintreten kann, müssen die Körper gewöhnlich erst bis zu einer bestimmten Temperatur (Verbrennungstemperatur) erhitzt werden.

Aufser den kohlenstoffhaltigen Körpern, welche für die Erzeugung gröfserer Wärmemengen allein von Bedeutung sind, vermögen auch andere Stoffe, z. B. Phosphor, Schwefel, die Metalle, durch ihre Vereinigung mit Sauerstoff Wärme zu erzeugen, wie überhaupt bei jeder Vereinigung von Grundstoffen zu chemischen Verbindungen Wärme erzeugt wird. Die Verbrennung in der Luft erfolgt um so rascher, je mehr Sauerstoff dem verbrennenden Körper zugeführt wird (Anwendung von Gebläsen, Schornsteinen, Lampencylindern u. dgl.). Ist der verbrennende Körper gasförmig oder geht er beim Verbrennen in den gasförmigen Zustand über, so entsteht zugleich eine Flamme, welche an denjenigen Stellen die meiste Wärme entwickelt, an denen sie mit Luft in Berührung steht.

Um Brennmaterialien nach ihrem Heizwerte miteinander vergleichen zu können, hat man durch genaue Versuche ermittelt, wieviel Wasser durch die von 1 kg jener Körper bei vollständiger Verbrennung erzeugte Wärme in Dampf verwandelt werden kann. Derartige Versuche lehren:

Jeder Körper entwickelt beim **Verbrennen** eine seinem Gewichte entsprechende bestimmte Wärmemenge. — Gleiche Gewichtsmengen verschiedener Körper liefern ungleiche Wärmemengen.

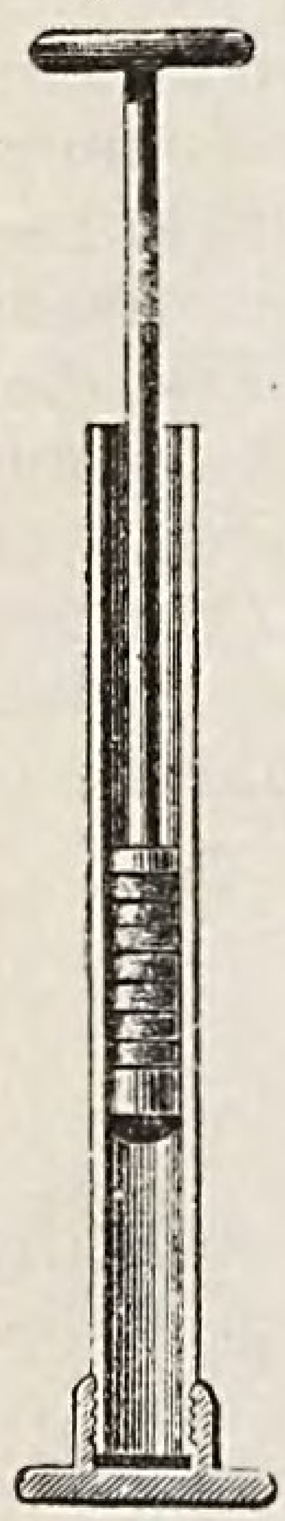
Zahl der Wärmeeinheiten,
welche durch das Verbrennen von 1 kg folgender Körper entstehen (ungef.):

Holz, lufttrocken . .	3000	Coaks	6600	Rüböl, gereinigt . .	9000
Torf, trocken	4800	Holz- u. beste Steinkohle	7000	Petrol. u. Leuchtgas	12000
Steinkohle, geringe.	6000	Weingeist	7000	Wasserstoff	34000

Mechanische Wärmequellen. Auch die *mechanische Arbeit* ist ein Mittel zur Erzeugung von Wärme. Im praktischen Leben bedienen

wir uns dieses Mittels, um die Verbrennung zunächst einzuleiten, z. B. beim Anzünden von Streichhölzern durch Reibung, beim Feuerschlagen mittelst Stahl und Feuerstein. Auch in zahlreichen anderen Fällen hat die mechanische Einwirkung eine Temperaturerhöhung der Körper zur Folge. Werkzeuge erhitzen sich beim Gebrauche, die Achsen der Räder und die Wellen der Maschinen beim Umlaufen in ihren Lagern, Metalle, wenn sie gehämmert, gewalzt und gepreſst werden, die Kugeln der Geschütze beim Anprallen an feste Gegenstände u. s. w., überhaupt alle Körper, wenn sie Reibung, Druck, Stoſs oder dergl. erleiden, mögen sie fest, flüssig oder luftförmig sein. Wird z. B. Qu. aus kaum $\frac{1}{2}$ m Höhe einigemal aus einem Gefäſse in ein anderes gegossen, so ist noch eine Wärmeentwickelung nachweisbar. — Luft läſst sich durch Zusammenpressen so stark erwärmen, daſs leicht brennbare Stoffe (Zündschwamm) sich darin entzünden (pneumatisches Feuerzeug, Fig. 449).

Fig. 449.



Alle angeführten Beispiele stimmen darin überein, daſs die Bewegung eines Körpers durch Bewegungshindernisse verlangsamt oder gar aufgehoben, also mechanische Arbeit verbraucht wurde, an deren Stelle Wärme entstand. Dies führt zu dem Satze:

Überall, wo durch Bewegungshindernisse mechanische Arbeit verbraucht wird, entsteht Wärme.

[illegible] **Sonnen- und Erdwärme.** Die vorzüglichste Wärmequelle für die Oberfläche der Erde ist die Sonne. Zwar läſst sich aus gewissen Erscheinungen (Vulkane, heiſse Quellen, Zunahme der Temperatur mit der Tiefe in Bergwerken und Bohrlöchern) schlieſsen, daſs die Erde eine Eigenwärme besitzt; für die Vorgänge jedoch, welche an der Oberfläche der Erde stattfinden, ist diese bedeutungslos. Dasselbe gilt in noch höherem Maſse von der Wärme, welche andere Gestirne gegen die Erde ausstrahlen. Aus früheren Paragraphen (§§ 97 und 111) geht hervor:

Ein Körper wird durch die Sonnenstrahlen um so stärker erwärmt, je mehr der Einfallswinkel der Strahlen sich einem rechten nähert und je gröſser das Absorptionsvermögen des Körpers ist.

Auf Grund genauer Beobachtungen hat man berechnet, daſs die gesamte Wärmemenge, welche der Erde in einem Jahre von der Sonne zugeführt wird, ausreichen würde, eine die ganze Erde umgebende Eisdecke von ungefähr 30 m Höhe zu schmelzen, gleichmäſsige Verteilung der Wärme vorausgesetzt. — Die Zunahme der Temperatur im Erdinnern beträgt bis zu einer Tiefe von etwa 1300 m durchschnittlich 1° C für 30 m; in gröſseren Tiefen ist die Zunahme geringer (im Bohrloch zu Schladebach in der Provinz Sachsen, das mit über 1700 m Tiefe gegenwärtig das tiefste Bohrloch der Erde ist, wurde eine Temperaturzunahme von 1° C auf je 35,7 m Tiefe beobachtet). Heiſse Quellen kommen an verschiedenen Stellen der Erde vor (§ 117, Übungsstoff).

Übungsstoff. 1. Steinkohlen liefern bei bester Heizvorrichtung höchstens $\frac{2}{3}$ ihres Wärmevorrates als Nutzwärme. Wv. kg Wasser von 100° können hiernach durch 1 kg der besten Steinkohle ganz in Dampf verwandelt werden? (§ 120.) —

2. Wv. kg W. von 0° könnten durch die Wärmemenge, welche a. 1 kg Kohlenstoff, b. 1 kg Leuchtgas zu erzeugen vermag, bis zur Siedetemp. erhitzt werden, wenn alle Wärme nutzbar gemacht werden könnte? — **3.** Wird eine Glasröhre in eine leuchtende Flamme gehalten, so schwärzt sie sich zunächst; je heifser sie aber wird, desto mehr verschwindet der schwarze Überzug wieder. Erkl.! — **4.** Warum ist bei den Streichhölzern eine sehr geringe mechanische Arbeit ausreichend, um eine Entzündung zu bewirken? — **5.** Es ist möglich, Eis durch blofse Reibung (ohne Zuführung von Wärme) flüssig zu machen (Versuch von *Davy*). Wofür ist dies ein Beweis? — **6.** Warum mufs sich eine Geschützkugel auf dem Wege durch die Luft erwärmen? (Sternschnuppen und Feuerkugeln.) — **7.** Mittelst eines mit Kienrufs geschwärzten Gefäfses, das ganz mit W. gefüllt und mit einem Therm. versehen ist (Pyrheliometer von *Pouillet*), läfst sich im direkten Sonnenlichte annähernd bestimmen, wv. Wärmeeinheiten einer bestimmten Fläche in bestimmter Zeit zugeführt werden. Erkl.! (Die Strahlen müssen senkrecht gegen die ebene Fläche fallen.)

D. Wärmeerscheinungen in der Atmosphäre.

Meteorologie.

(Siehe § 36.)

§ 127. Temperatur der Luft und des Bodens. Man beobachtet oft, dafs ein im Sonnenschein aufgehängtes Thermometer eine bedeutend höhere Temperatur anzeigt als ein im Schatten hängendes. Gewöhnlich schliefst man daraus, dafs die Luft im Sonnenschein wärmer sein müsse als im Schatten, da man der Meinung ist, das Thermometer zeige die Temperatur der dasselbe umgebenden Luft an. Dieser Schlufs ist falsch, denn bringt man ein Thermometer durch Hin- und Herbewegen schnell mit immer neuen Luftschichten in Berührung (Schleuderthermometer), so zeigt sich, dafs die Luft im Sonnenschein nur sehr wenig wärmer ist als im Schatten.

Bem. Die gebräuchliche Aufhängung der Thermometer ist nicht dazu geeignet, die wirkliche Temperatur der Luft zu ergeben. Will man diese erhalten, so mufs das aufgehängte Thermometer stets im Schatten bleiben (Nordseite des Gebäudes) und vom Boden, sowie von allen Wärme ausstrahlenden Gegenständen weit genug entfernt sein (wenigstens 2 cm über dem Boden und 30 cm von der Wand).

Zahlreiche Beobachtungen lehren, dafs die Temperatur der untersten Luftschichten im allgemeinen mit derjenigen der Bodenoberfläche übereinstimmt, dafs aber die Temperatur der übrigen Luftschichten mit der Höhe abnimmt und zwar um so schneller, je trockener die Luft ist und je wärmer die unteren Schichten derselben sind. Diese Temperaturabnahme beträgt daher im Sommer mehr als im Winter und bei geringerer Erhebung vom Erdboden mehr als in gröfseren Höhen (durchschnittlich 1° C für ungefähr 200 m Steigung).

Die Temperatur der Atmosphäre nimmt mit der Höhe ab. Die Atmosphäre erhält ihre Wärme von der Erdoberfläche, welche ihrerseits durch Bestrahlung von der Sonne erwärmt wird.

Die Sonnenstrahlen werden von den höheren Schichten der Atmospähre ganz, von den unteren, mit Staub und Dunst erfüllten Schichten gröfstenteils durchgelassen; die Erdoberfläche dagegen absorbiert die Sonnenstrahlen, erwärmt sich dadurch und strahlt wie ein geheizter Ofen dunkle Wärme wieder aus. Da nun die

Atmosphäre dunkle Wärmestrahlen nicht so leicht durchläfst als Sonnenstrahlen, so mufs ihre Temperatur infolge der Ausstrahlung des Bodens mehr steigen als durch die Einwirkung der Sonnenstrahlen. Dies gilt wiederum hauptsächlich von den untersten Schichten der Atmosphäre. Diesen Schichten (nicht den höheren, da Luft ein sehr schlechter Wärmeleiter ist) teilt sich die Wärme der Erdoberfläche aufserdem durch Leitung mit. In der Höhe kann daher nur dadurch eine Erwärmung der Luft eintreten, dafs die unteren erwärmten Luftschichten aufsteigen. Letzteres aber ist mit einem Wärmeverlust verbunden, denn indem die Luft sich in der Höhe ausbreitet, leistet sie eine Arbeit; trockene Luftmassen kühlen sich bei je 100 m Emporsteigen um 1° C ab.

Bei starker Wärmeausstrahlung des Bodens kommt es bisweilen vor, dafs die Temperatur nach oben nicht ab-, sondern zunimmt. Diese Erscheinung zeigt sich besonders im Winter in abgeschlossenen Gebirgsthälern, in welchen kalte und schwere Luft, von den Höhen herabsinkend, abwärts fliefst, während darüber wärmere Luftschichten sich ausbreiten (ein ausgezeichnetes Beispiel bietet das Innthal und der Brennerpafs). Auch in klaren Sommernächten ist die Luft über Wiesengründen infolge starker Strahlung oft bedeutend kälter, als über benachbarten Anhöhen.

Im Laufe des Tages wie des Jahres macht sich eine gewisse Regelmäfsigkeit in den Veränderungen der Lufttemperatur bemerklich. Diese besteht darin, dafs die Temperatur bis zu einer gewissen Höhe steigt und dann wieder fällt, sowie dafs sie diesen höchsten und tiefsten Punkt zu bestimmten Zeiten erreicht. Die Zeit des Eintrittes der höchsten wie der niedrigsten Temperatur hängt aufser vom Sonnenstande auch von der Beschaffenheit der Erdoberfläche (ob Meer oder Land) ab. Tagsüber ist im allgemeinen die Luft etwa gegen 2 Uhr nachmittags am wärmsten und kurze Zeit vor Sonnenaufgang am kältesten. Der wärmste Monat ist in unseren Gegenden im allgemeinen der Juli, während der Januar der kälteste ist (für Inseln und Küstenländer tritt sowohl die höchste als auch die niedrigste Jahrestemperatur etwas später ein).

Die höchste Tagestemperatur tritt bald nach dem höchsten Sonnenstande, die niedrigste kurz vor Sonnenaufgang ein. Die höchste und die niedrigste Jahrestemperatur treten bald nach dem höchsten und niedrigsten Sonnenstande ein.

Da die Luft ihre Wärme von der Erdoberfläche erhält, so müssen die periodischen Temperaturveränderungen der Luft wesentlich von dem Verhältnis abhängen, in welchen die Ausstrahlung zur Einstrahlung steht. Während der *Nacht* findet nur eine Ausstrahlung statt, die Temperatur mufs daher nachts sinken. Am *Tage* überwiegt mit wachsender Sonnenhöhe die Einstrahlung, mit abnehmender Sonnenhöhe die Ausstrahlung. Tagsüber mufs daher die Temperatur so lange steigen, bis Aus- und Einstrahlung gleich sind, was erst kurz nach dem höchsten Sonnenstande der Fall sein kann. — Ähnliches gilt auch von den *jährlichen Temperaturschwankungen.* Stände die Sonne das ganze Jahr hindurch im Äquator, so würde ihre Wärmewirkung für eine bestimmte geographische Breite während des ganzen Jahres dieselbe sein. Da nun aber die Sonnenhöhe und damit auch die Tageslänge zu- und abnimmt, so mufs auch die Temperatur innerhalb eines Jahres zu- und abnehmen, und zwar mufs dieselbe

nach dem höchsten Sonnenstande noch eine Zeitlang steigen, nach dem niedrigsten Sonnenstande hingegen noch eine Zeitlang sinken, denn bis zum Eintritte dieser Wendepunkte (21. Juni und 21. Dezember) hat die Erde beim Wachsen der Sonnenhöhe monatelang mehr Wärme erhalten, als sie wieder auszustrahlen vermag, bei der Abnahme der Sonnenhöhe hingegen monatelang mehr Wärme ausgestrahlt, als sie erhielt. Diese Verzögerung des Eintrittes der Zeit, in welcher die Ausstrahlung der Einstrahlung gleich ist, wird noch dadurch begünstigt, dafs die Sonnenhöhe sich um die Zeit der Sonnenwende nur wenig ändert.

Die periodischen Temperaturschwankungen zeigen nach der geographischen Breite folgende Unterschiede: In der *heifsen Zone* sind die jährlichen Schwankungen sehr gering, während die täglichen (besonders im Binnenlande) stark hervortreten. Mit der Annäherung an die gemäfsigten Zonen nehmen die jährlichen Schwankungen zu, die täglichen ab. In den *gemäfsigten* und namentlich in deu *kalten Zonen* sind die jährlichen Schwankungen bedeutend gröfser als die täglichen. In allen Zonen werden die Temperaturschwankungen durch die Nähe des Meeres gemildert (siehe § 121).

Die täglichen Temperaturschwankungen des Bodens sind schon in 1 m Tiefe unmerklich, die jährlichen Schwankungen in etwa 30 m (in den Tropen schon in 6 m) Tiefe.

Übungsstoff. 1. Wenn die Erde keine Atm. hätte, so würden die Temp.-Schwankungen der Erdoberfläche gröfser sein und regelmäfsiger erfolgen; w.? — 2. Inwiefern übt die zufällige Beschaffenheit der Atm., insbesondere ihr Wasserdampfgehalt, einen Einflufs auf dieselben aus? — 3. Welchen Einflufs mufs es auf die Temp. bewegter Luft ausüben, a. wenn die Luft in Thalengen hineingetrieben wird, b. wenn sie aufsteigt? — 4. Im nördlichen Sibirien (z. B. in der Gegend von Jakutzk) ist der Boden in einiger Tiefe beständig gefroren; trotzdem läfst sich dort in der kurzen Sommerszeit Ackerbau treiben. Wie läfst sich dies erklären? — 5. Wie erklärt es sich, dafs das Verhältnis der täglichen und jährlichen Temp.-Schwankungen in den Äquatorgegenden ein anderes ist als in unseren Gegenden? — 6. Der Gang der Temp. eines Tages soll in einem Quadratnetze durch eine gebrochene Linie dargestellt werden (sogen. graphische Darstellung). Zu diesem Zwecke sind die Temp.-Grade neben einer senkrechten, die Tagesstunden unter einer wagerechten Linie in der Weise einzutragen, dafs jeder höhere Schnittpunkt eine um 1^0 höhere Temp., jeder weiter nach rechts gelegene Schnittpunkt einen um 1 Stunde vorgerückten Zeitpunkt bedeutet. Die Temperaturen seien von Mitternacht zu Mitternacht $+12^0$, $11\frac{1}{2}^0$, 11^0, $10\frac{3}{4}^0$, $10\frac{1}{2}^0$, 11^0, $11\frac{3}{4}^0$, $12\frac{3}{4}^0$, 14^0, 15^0, 16^0, $16\frac{3}{4}^0$, $17\frac{1}{2}^0$, $18\frac{1}{4}^0$, $18\frac{1}{2}^0$, $18\frac{1}{2}^0$, $18\frac{1}{4}^0$, 18^0, $17\frac{1}{2}^0$, $16\frac{1}{2}^0$, $15\frac{1}{4}^0$, 14^0, 13^0, $12\frac{1}{2}^0$, 12^0. — 7. Desgl. der Gang der Jahrestemp. nach den Mitteltemperaturen der Monate: $-5\frac{1}{2}^0$, 4^0, 2^0, $+3^0$, 8^0, 12^0, $13\frac{1}{2}^0$, $12\frac{1}{2}^0$, $7\frac{1}{2}^0$, 2^0, -1^0, $3\frac{1}{2}^0$, $5\frac{1}{2}^0$.

§ 128. Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

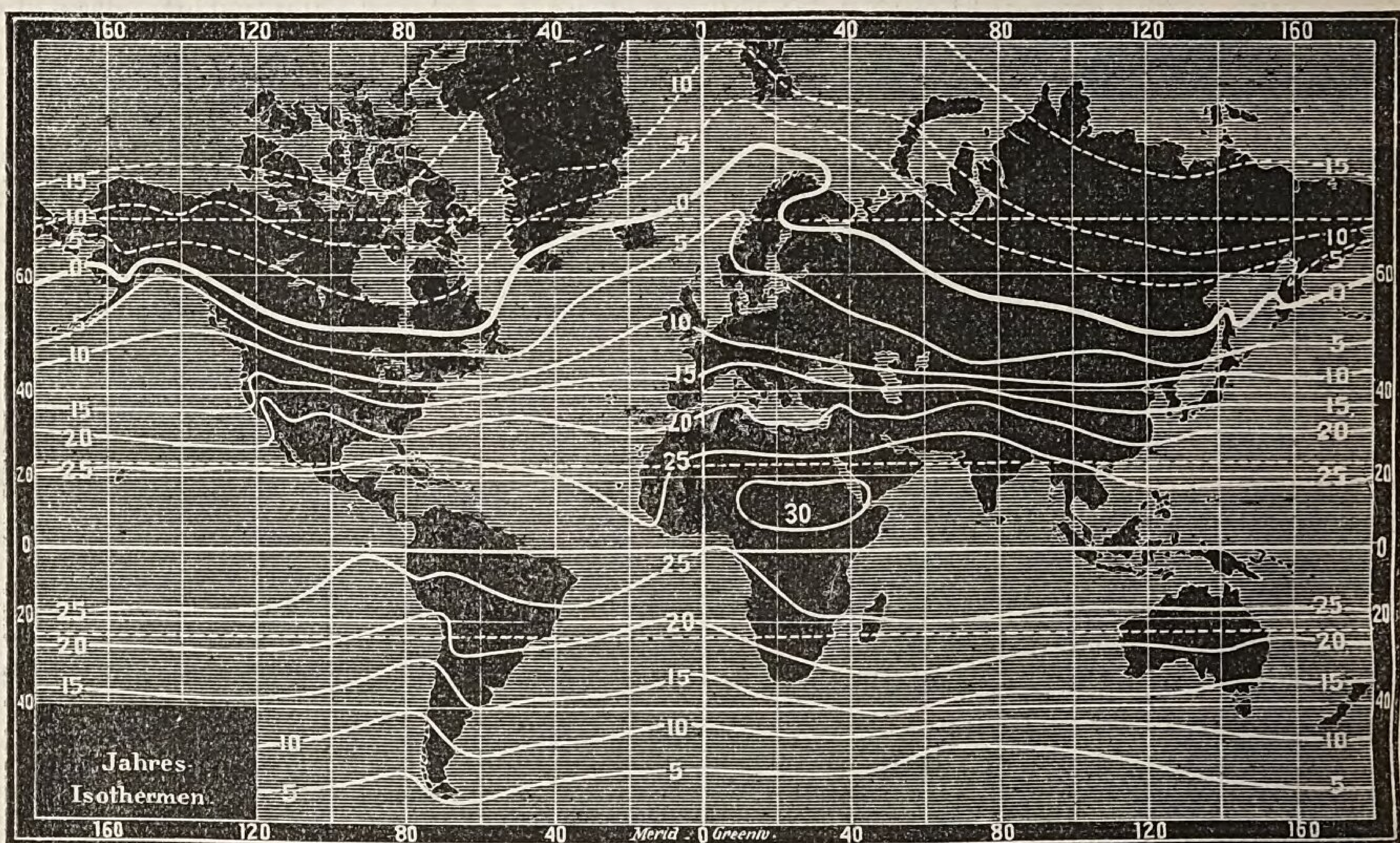
Um der Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche genau kennen zu lernen, hat man für zahlreiche Orte die *mittleren Temperaturen* der einzelnen Tage, Monate und Jahre dadurch bestimmt, dafs man die Lufttemperaturen regelmäfsig (z. B. von Stunde zu Stunde) beobachtete, hieraus zunächst das arithmetische Mittel für die einzelnen Tage und aus diesen Tagesmitteln die mittleren Temperaturen der einzelnen Monate und des ganzen Jahres berechnete. Indem man die Beobachtungen jahrelang fortsetzte, erhielt man die *allgemeinen Mitteltemperaturen* der betreffenden Orte. Der leichteren Übersicht wegen hat man sämtliche Mitteltemperaturen in geographische Karten eingetragen und die Orte von gleicher Mitteltemperatur durch Linien miteinander verbunden

(Fig. 450). — *Linien, welche Orte von gleicher Mitteltemperatur miteinander verbinden, heifsen* **Isothermen.**[1])

a. Jahres-Isothermen.

Dieselben geben einen Überblick über die Verteilung der durch-

Fig. 450.



schnittlichen Wärme des Jahres (Fig. 450) und führen zu folgenden wichtigen Sätzen:

1. Die Temperatur der Erdoberfläche nimmt vom Äquator nach beiden Polen hin unregelmäfsig ab. Diese Unregelmäfsigkeit ist auf der nördlichen Erdhälfte viel gröfser als auf der südlichen.

2. Auf der nördlichen Halbkugel (besonders in Europa) sind die an den Westküsten gelegenen Länder wärmer als die Länder an den Ostküsten.

Bem. Auf den Karten geben die ausgezogenen Linien Mitteltemperaturen über, die punktierten solche unter 0° an.

Wäre die Erdoberfläche überall von gleicher Beschaffenheit, so müfsten die Orte, welche gleichweit vom Äquator entfernt liegen, auch dieselbe Mitteltemperatur haben. Die Isothermen würden dann also mit den Parallelkreisen parallel laufen und die Pole der Erde zugleich die Kältepole sein. Da aber auf der Erde Land und Meer, Berg und Thal u. s. w. miteinander abwechseln und sehr ungleich verteilt sind, so kann die Temperatur vom Äquator nach den Polen nicht gleichmäfsig abnehmen. Wegen der gröfseren Ausdehnung des Landes und des gröfseren Wechsels der Strömungen in Luft und Meer mufs auf der nördlichen Erdhälfte diese Unregelmäfsigkeit am meisten hervortreten.

[1]) ἴσος (isos), gleich, θερμός (thermós), warm.

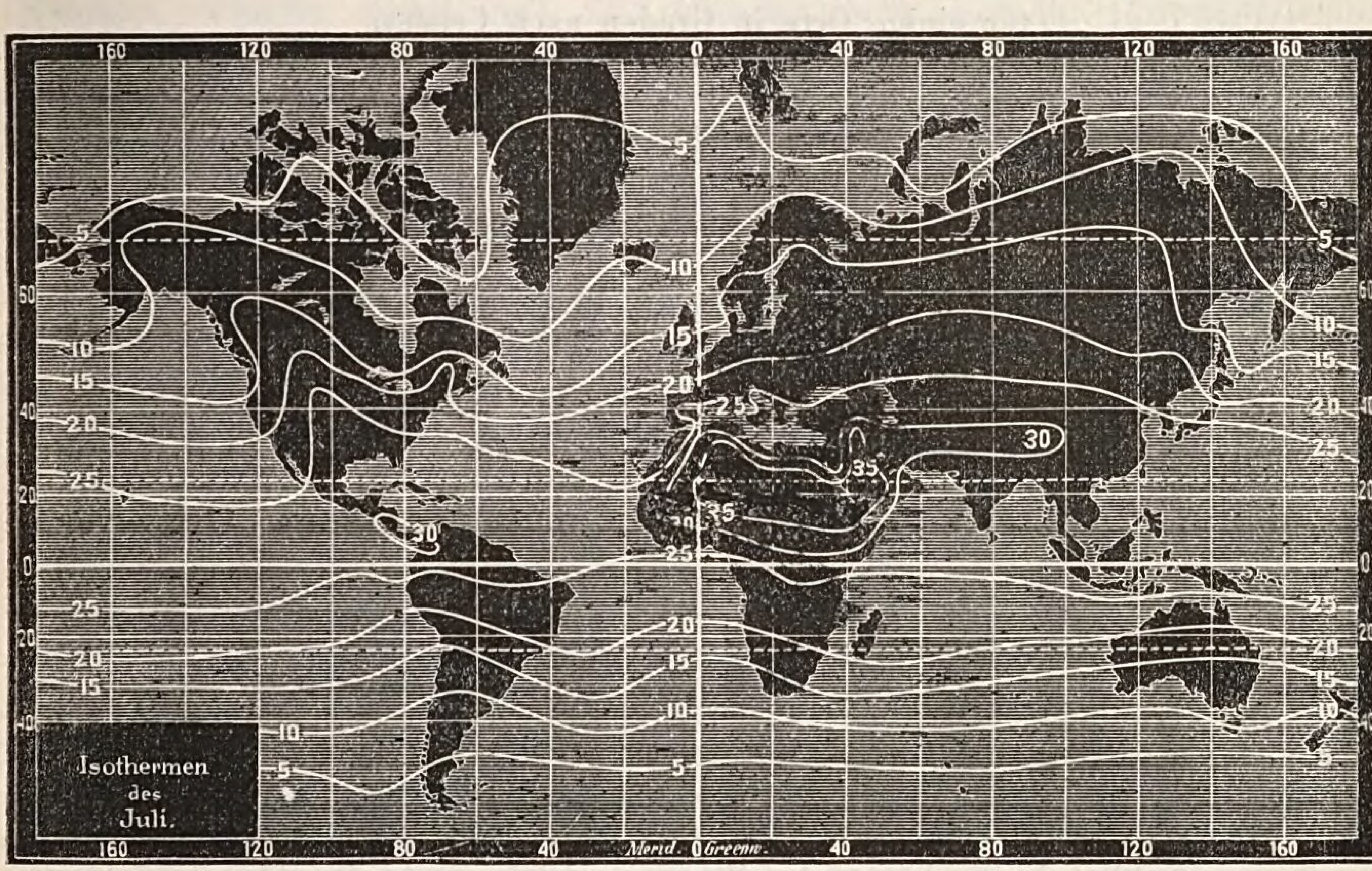
Die höhere Temperatur der Westküsten auf der nördlichen Erdhälfte erklärt sich namentlich aus der Wirkung der Meeresströmungen, welche jene Küsten berühren. Während die Westküsten gröfstenteils von warmen aus der Äquatorgegend kommenden Strömen bespült werden, fliefsen an den Ostküsten vorwiegend kalte Ströme vom Eismeere her. Auf die Temperatur Europas, besonders der Nordwestküste dieses Erdteils, übt der Golfstrom einen wesentlichen Einflufs aus. Durch diese Strömung gelangen vom mexikanischen Meerbusen her grofse Massen erwärmten Wassers in nordöstlicher Richtung bis an die Küste von Norwegen (vergl. den Verlauf der Jahres-Isotherme von 0°).

Die Erfahrung hat ergeben, dafs zur Bestimmung der mittleren Tagestemperatur 2 oder 3 Beobachtungen ausreichen. Die Zeitpunkte, welche sich für Mitteleuropa dazu eignen, sind z. B. 8 Uhr morgens und 8 Uhr abends oder (genauer) 6 Uhr morgens, 2 Uhr nachmittags und 10 Uhr abends.

b. Monats-Isothermen.

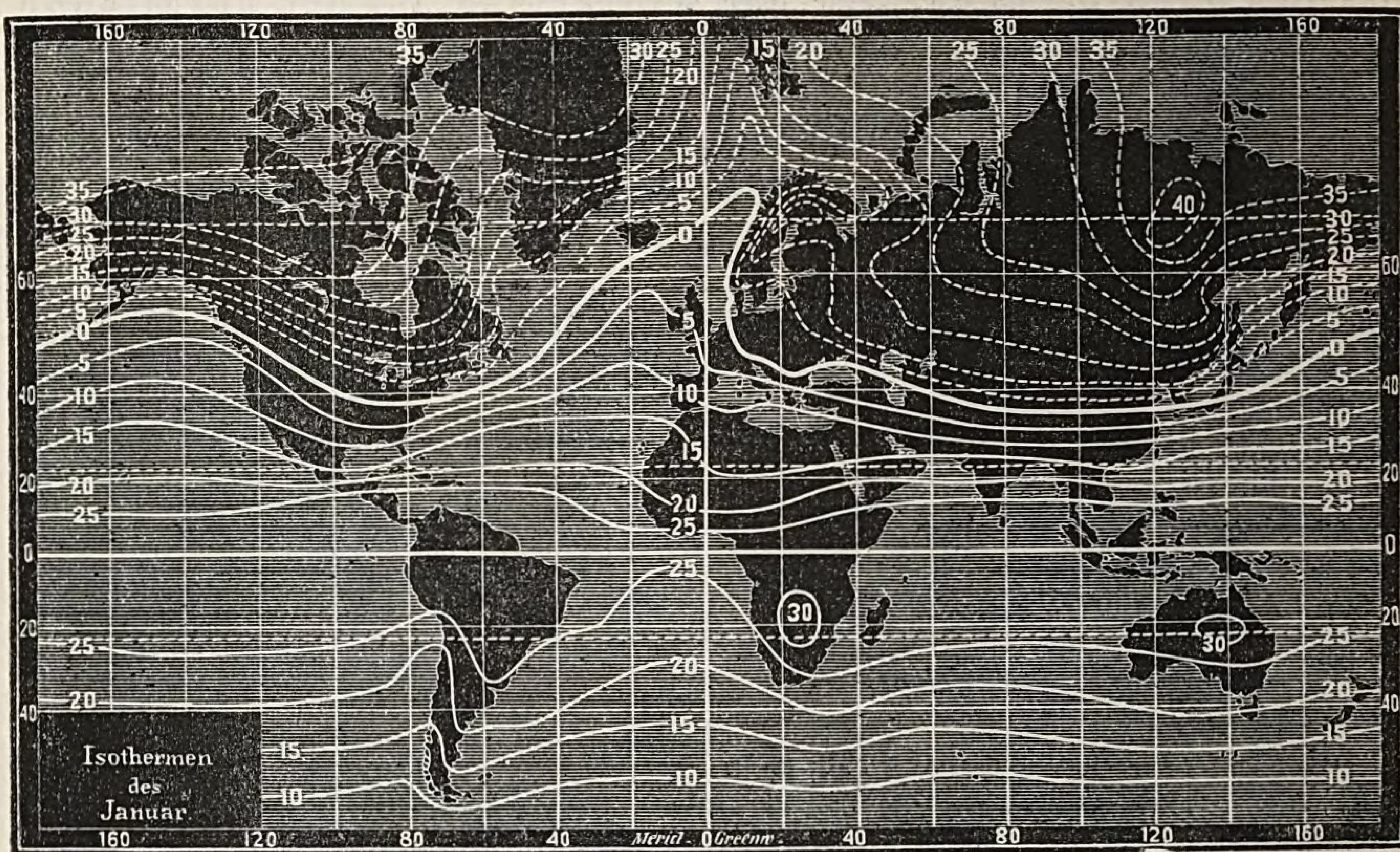
Die gegenseitige Lage dieser Isothermen mufs sich offenbar mit der Jahreszeit ändern und zwar in der Weise, dafs die Isothermen sich im Sommer weiter vom Äquator entfernen, im Winter hingegen sich demselben nähern (vergl. Fig. 451 und 452). Diese Verschiebung mufs

Fig. 451.



wegen der stärkeren Erwärmung und der ebenfalls stärkeren Abkühlung des festen Bodens über den Erdteilen weit mehr betragen als über dem Meere, also namentlich auf der nördlichen Halbkugel sich bemerklich machen. Im Winter giebt es (nach Fig. 452, folg. Seite) auf der nördlichen Erdhälfte 2 Kältepole, von denen der eine in Amerika, der andere in Asien liegt. Die Monats-Isothermen geben wichtige Aufschlüsse über die klimatischen Verhältnisse der einzelnen Länder, wie folgende Beispiele beweisen.

Fig. 452.



Mitteltemperaturen

für einige Orte in Graden nach Celsius.

Ort	Geographische Lage	Temperatur im kältesten Monat	Temperatur im wärmsten Monat	Temperatur-Unterschied
St. Helena	ungef. 16° südl. Breite	+ 13,9	+ 19,0	5,1
Rom	„ 42° nördl. „	+ 7,3	+ 25,0	17,7
Newyork	„ 42° nördl. „	— 1,0	+ 23,7	24,7
Berlin	„ 52½° „ „	— 0,9	+ 18,5	19,4
Dublin	„ 53° „ „	+ 5,1	+ 15,8	10,7
land(südl.Küste)	„ 63° „ „	— 1,0	+ 11,0	12,0
Jakutzk	„ 63° „ „	— 42,1	+ 16,7	58,8

Orte, welche mitten in einem grofsen Erdteile liegen, haben heifse Sommer und strenge Winter: **Kontinental-** oder **Landklima**; Orte, welche auf Inseln oder wenigstens nahe am Meere liegen, haben kühle Sommer und milde Winter: **Seeklima.**

Die Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche wurde zuerst von Alexander v. Humboldt (1817) durch Isothermenkarten veranschaulicht.

Übungsstoff. 1. Welchen Einflufs mufs a. die Gröfse des Einfallswinkels der Sonnenstrahlen, b. die Länge des Weges, welchen sie in der Atm. zurücklegen, auf ihre erwärmende Kraft ausüben? — 2. Wende dies auf verschiedene geogr. Breiten an. — 3. Giebt es nach Fig. 450 und 451 in der gemäfsigten Zone Orte, an denen die Sommertemp. die mittlere Jahrestemp. der Äquatorgegend erreicht oder übertrifft? — 4. a. In welchem Erdteile sind die Unterschiede der mittleren Jahrestemp. am geringsten, b. in welchem am gröfsten? — 5. Der Verlauf der Jahresisothermen zeigt, dafs in der heifsen Zone die Landmassen wärmer sind als die Meere, während es sich in den höheren Breiten umgekehrt verhält. Erkläre diese Ersch.! — 6. Erkläre den sehr auffälligen Verlauf der Januar-Isothermen von 0°! — 7. In welchem Lande Europas sind die Temp.-Unterschiede im Winter in der Richtung von O. nach W. am gröfsten? Erkl.! — 8. An welchem von den in der obigen

Tabelle angeführten Orten sind die jährlichen Temp.-Schwankungen am geringsten und an welchen am gröfsten? Erklärung!

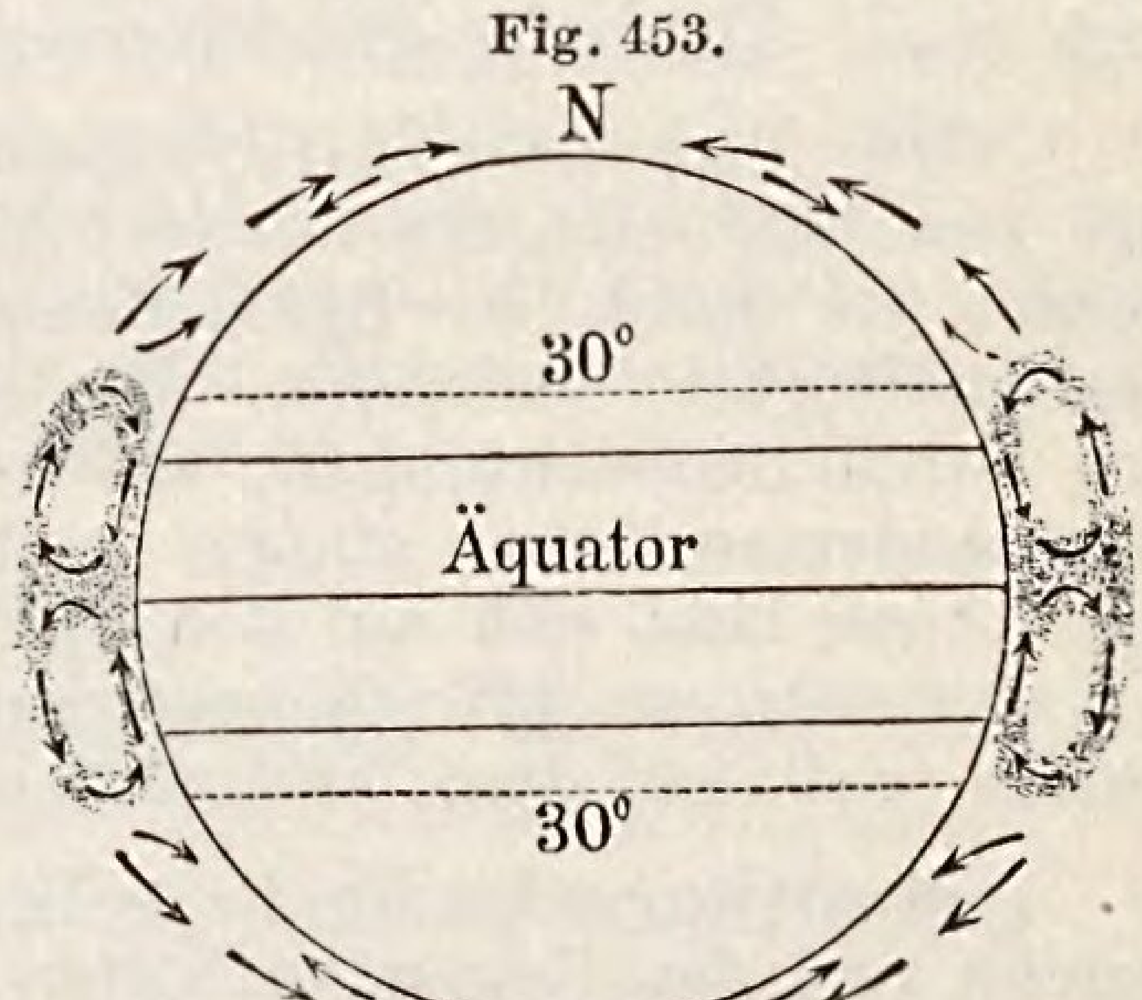
§ 129a. Luftströmungen. Die ungleiche Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche mufs einen Einflufs auf den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre ausüben. Dies läfst sich schon aus den Strömungen schliefsen, welche eintreten, wenn die Luft eines erwärmten Zimmers mit der eines benachbarten kälteren Raumes in Verbindung gebracht wird (§ 35). In ähnlicher Weise wird jede stärkere Erwärmung eines Teiles der Erdoberfläche ein Aufsteigen der erwärmten Luft und ein Abfliefsen derselben in den oberen Schichten, in den unteren hingegen ein Zufliefsen kälterer Luft zur Folge haben. Strömungen dieser Art kommen in gröfstem Mafsstabe in der Lufthülle beider Erdhälften vor.

Passatwinde.

In der Äquatorgegend findet das ganze Jahr hindurch eine starke Erwärmung der unteren Luftschichten statt, welche dadurch ausgedehnt werden und in die Höhe steigen. Dieses Aufsteigen der Luft hat zunächst zur Folge, dafs der Luftdruck in den höheren Schichten zunimmt; die Schichten gleichen Druckes, welche sonst mit der Erdoberfläche gleiche (konzentrische) Lage haben würden, müssen sich demnach heben. Dadurch entsteht in der Höhe ein nach beiden Polen hin gerichtetes Gefälle, infolgedessen die obere Luft polwärts abfliefst, während unten von Norden und Süden her kältere Luft in den entstandenen luftverdünnten Raum einströmt.

Auf diese Luftdruckverhältnisse übt nun die Gestalt der Erde einen Einflufs aus. Der Raum für die polwärts abfliefsende Luft wird infolge der Krümmung der Erde immer enger; es mufs sich daher zu beiden Seiten des Gürtels stärkster Erwärmung Luft anhäufen und diese Anhäufung der Luft nimmt bis zu der Gegend zwischen dem 30. und 40. Breitengrade zu. Hier ist der Luftdruck an der Erdoberfläche dauernd am gröfsten. Zwischen diesem Breitengrade und der Äquatorgegend findet beständig ein geschlossener Kreislauf der Luft statt (Fig. 453). Die nicht in diesen Kreislauf hineingezogene Luft der oberen Strömung scheint ihren Weg polwärts fortzusetzen.

Fig. 453.



Der Luftdruck beträgt in der Äquatorgegend in Meereshöhe fast immer 760 mm; von da bis zu der Zone zwischen dem 30. und 40. Grade nördl. und südl. Breite nimmt er durchschnittlich bis ungefähr 765 mm zu und dann wieder ab nach den Polen hin.

Der Erdgürtel, in welchem das Aufsteigen grofser Luftmassen täglich erfolgt, wird **Region der Kalmen** *oder* **Windstillen** *genannt. Die nach dem Kalmengürtel gerichteten unteren Luftströmungen heifsen*

Passatwinde *(Polarströme), die nach den Polen gerichteten oberen Strömungen* **Gegenpassate** *(Äquatorialströme).*

Der Kalmengürtel hat nicht überall die gleiche Breite und auch nicht immer dieselbe Lage. Er entspricht im allgemeinen den Gegenden der Erdoberfläche, welche sich am stärksten erwärmen; seine Grenzen verschieben sich daher nach dem Sonnenstande und zwar am meisten auf der nördlichen Halbkugel, wo er in unserem Sommer ungefähr den 10. Grad erreicht (im atlant. Ocean), während er an seiner Südseite sich etwa bis zum Äquator erstreckt. Innerhalb des Kalmengürtels herrscht meistens Windstille, welche nur zeitweise durch stürmische Winde unterbrochen wird.

Richtung der Passatwinde. Die Richtungen der oberen und unteren Passatströmungen würden genau nördliche und südliche sein, wenn die Erde in Ruhe wäre und die Erdoberfläche überall gleiche Beschaffenheit hätte. Nun aber dreht sich die Erde mit ihrer ganzen Lufthülle um ihre Achse. Die vom Äquator abfliefsende Luft hat daher schon bei Beginn ihrer polwärts gerichteten Bewegung eine Geschwindigkeit nach O. (etwa 460 m in 1 Sek.), welche aber am Äquator selbst nicht bemerkbar ist, da hier alle Punkte der Erdoberfläche die gleiche östliche Geschwindigkeit haben; je mehr sich indes die Luft vom Äquator entfernt, um so mehr fliefst sie über Orte der Erdoberfläche hinweg, welche sich langsamer von W. nach O. bewegen, denen sie mithin vorauseilen mufs. Der Äquatorialstrom eilt daher den Orten desjenigen Meridians, welcher sonst seine Bahn bezeichnen würde, nach O. voraus: *auf der nördlichen Erdhälfte wird aus dem S.-Winde ein SW.-Wind.* Mit dem Polarstrome verhält es sich umgekehrt, da die Luft desselben ursprünglich eine um so geringere Geschwindigkeit nach O. hat, je näher ihr Ausgangspunkt dem Pole liegt. Der Polarstrom bleibt daher zurück hinter den Orten des Meridians, welcher seine Bahn sonst bestimmen würde: *aus dem N.-Winde wird auf der nördlichen Erdhälfte ein NO.-Wind.* Nord- und Südwinde werden somit durch die Achsendrehung der Erde auf der nördlichen Halbkugel nach rechts abgelenkt; auf der südlichen Halbkugel findet eine Ablenkung beider Winde nach links statt. (Vergl. auch § 77, *Foucaults Pendelversuch.*)

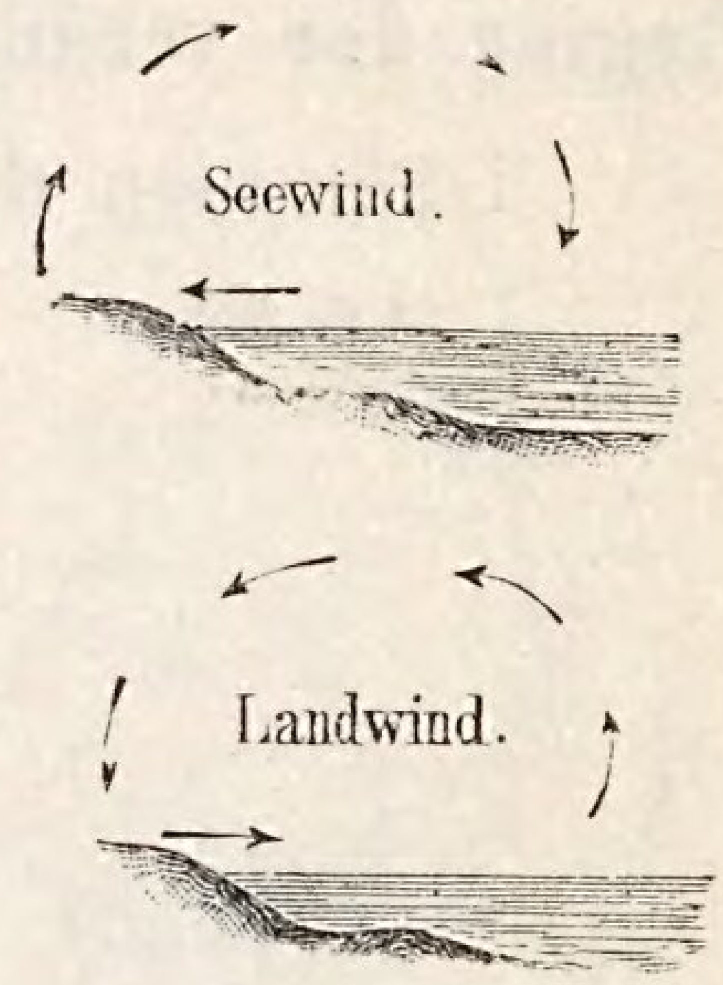
Die Passatwinde wehen in gröfster Regelmäfsigkeit nur auf dem Meere und zwar erst mehrere hundert Meilen von der Küste entfernt. Auf dem Festlande werden sie durch die Beschaffenheit der Erdoberfläche (Gebirge u. s. w.) in ihrer Regelmäfsigkeit beeinflufst. Das regelmäfsige Wehen der Äquatorialströme bestätigt sich durch Beobachtungen, welche man an der Rauchsäule und der hoch emporgeschleuderten Achse einiger in der Äquatorialgegend gelegenen Vulkane gemacht hat. Auch läfst sich auf den Spitzen hoher Berge, welche von den herabsinkenden Äquatorialstrome getroffen werden, die Regelmäfsigkeit der oberen Strömung nachweisen (z. B. auf dem 3600 m hohen Pik von Teneriffa).

Monsune. Da ähnliche Temperaturgegensätze, wie sie zwischen der Äquatorgegend und den Gegenden höherer Breiten bestehen, auch durch die ungleiche Erwärmung von Land und Meer hervorgerufen werden, so können die beschriebenen regelmäfsigen Luftströmungen durch grofse Erdteile erhebliche Abänderungen erleiden. Das grofsartigste Beispiel dieser Art zeigt Asien. Die über Mittelasien im Sommer eintretende starke Erwärmung und Auflockerung der Luft (der Barometerstand ist z. B. in Peking im Juli 20 mm niedriger als im Januar), wie die starke Erkaltung und Verdichtung derselben im Winter bewirken, dafs im indischen Ocean, nördlich vom Äquator, regelmäfsig im Sommer ein SW.-Wind, im Winter ein NO.-Wind weht. Derartige Winde heifsen Monsune, d. h. soviel wie Jahreszeitenwinde.

Küstenwinde. Gebirgswinde. An den Küsten, namentlich in der heifsen Zone, kann auch durch den regelmäfsigen täglichen Temperaturwechsel ein täg-

licher Wechsel in der Windrichtung hervorgerufen werden (Fig. 454). Tagsüber steigt hier die vom Boden aus erwärmte Luft in die Höhe, und kältere, dichtere Luft vom Meere her tritt an ihre Stelle; des Nachts dagegen strömt umgekehrt die über dem Boden lagernde, abgekühlte Luft nach dem Meere hin. Am Tage weht somit ein Seewind, in der Nacht ein Landwind. Ersterer wird in der Regel erst mehrere Stunden nach Sonnenaufgang bemerklich, nimmt noch 2—3 Stunden lang nach Mittag an Stärke zu und legt sich gegen Abend; letzterer beginnt etwa gegen Mitternacht und weht am stärksten gegen Sonnenaufgang. Die Land- und Seewinde sind im allgemeinen nur schwach; sie sind überhaupt nicht bemerklich, wenn ein anderer, stärkerer Wind vorherrscht.

Fig. 454.



Auch im Gebirge kann ein täglicher Windwechsel vorkommen. Ist die Luft sonst ruhig, so weht bei genügender Erwärmung der Bergabhänge durch Sonnenstrahlung am Tage ein Wind thalaufwärts, nachts infolge der stärkeren Abkühlung der Hänge thalabwärts. Auch diese Winde treten um so deutlicher hervor, je weniger allgemeinere Luftströmungen vorherrschen und gelten daher besonders im Hochgebirge als ein Zeichen gleichmäfsig guten Sommerwetters (Unterwind und Oberwind).

Übungsstoff. 1. Als mittlerer Luftdruck in Meereshöhe ergab sich in Südamerika (unter dem Äquator) 759 mm, in Nordamerika (39⁰ nördl. Br.) 767 mm; dagegen in einer Höhe von 4060 m über dem Meere in Südamerika 471 mm, in Nordamerika 458 mm. Welche Schlüsse lassen sich aus der Vergleichung dieser Zahlen ziehen? — 2. Auf der Spitze des Piks von Teneriffa (28⁰ nördl. Br.) weht beständig SW.-Wind, auf dem Meere hingegen (wenigstens im Sommer) NO.-Wind. Erkl.! — 3. Die Asche des Vulkans Coseguina in Central-Amerika fiel auf Jamaika nieder, obwohl diese Insel über 160 geogr. Meilen nordöstlich vom Vulkan entfernt ist und auf der Insel wie auf dem Meere der Wind entgegengesetzte Richtung hatte. Erkl.! (Der Vulkan liegt etwa auf dem 13., die Insel unter dem 18. Grade nördl. Br.) — 4. Die Stärke von Luftströmungen wächst im allgemeinen mit den Temperaturgegensätzen benachbarter Teile der Erdoberfläche; w.? — 5. Welcher Unterschied ergiebt sich hieraus hinsichtlich der Stärke der atm. Äquatorialströmungen der nördl. Erdhälfte für unsern Sommer und Winter? Grund! — 6. Wie läfst sich aus der Verteilung von Land und Meer der Schlufs ziehen, dafs diese Strömungen auf der nördlichen Erdhälfte im allgemeinen stärker sein müssen als auf der südlichen? — 7. Im Januar sind die Winde Australiens vorherrschend vom Meere nach dem Innern des Festlandes, im Juli entgegengesetzt gerichtet. Erkl.! (Australien liegt zwischen dem 15. und 40. Grade südl. Br.) — 8. Warum nimmt die Deutlichkeit der Küstenwinde mit der geogr. Breite ab?

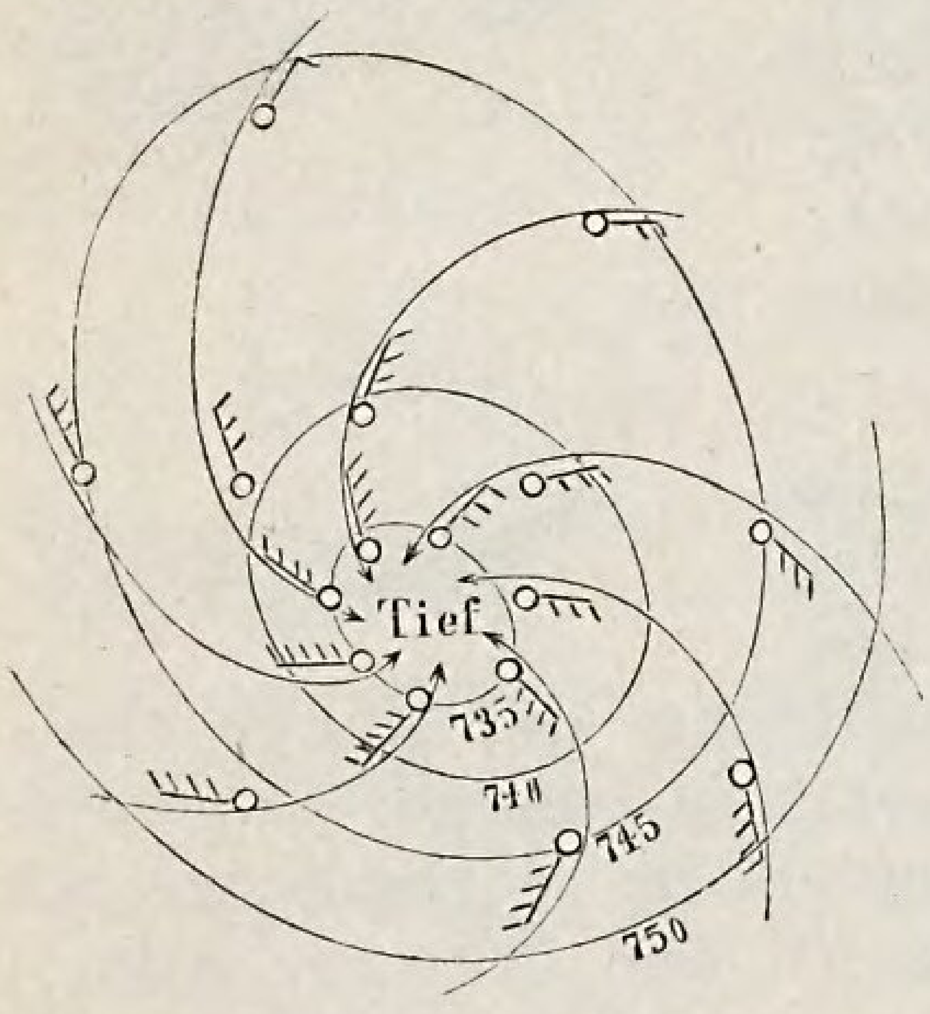
§ 129 b. Luftströmungen. (Fortsetzung.) Ob ungleiche Erwärmung als die einzige Ursache der Gleichgewichtsstörungen in der Atmosphäre anzusehen ist, oder ob noch andere Ursachen mitwirken, ist nicht mit genügender Sicherheit bekannt. Jedenfalls ergiebt sich als sicherer Ausgangspunkt für die Erklärung der Luftströmungen die thatsächliche Abhängigkeit dieser Strömungen von der Verteilung des Luftdruckes. Offenbar kann die Atmosphäre nur dann im Gleichgewichte sein, wenn überall in gleichen Höhen derselbe Druck herrscht, und es müssen Strömungen entstehen, wenn dies nicht der Fall ist, da dann die Luft nach den Orten niederen Druckes ein Gefälle hat. Durch die genauere Erforschung dieser Verhältnisse hat sich über den Zusammenhang zwischen der Verteilung des Luftdruckes und der herrschenden Windrichtung eine Gesetzmäfsigkeit erkennen lassen, welche auch über

die veränderlichen und scheinbar ganz regellosen Winde aufserhalb des Gebietes der Passate wichtige Aufschlüsse giebt.

Region der veränderlichen Winde. Das Windgesetz von Buys Ballot.

Trägt man die Barometerstände zahlreicher Orte an jedem Tage in Karten ein und verbindet die Orte gleichen Luftdruckes durch Linien miteinander, so ergiebt sich, dafs die niedrigsten Barometerstände in der Regel auf einem kleineren Gebiete des Meeres oder Festlandes zusammenliegen, und um diese herum sich Orte höheren Druckes derart gruppieren, dafs der Druck mit der Entfernung von jenem Gebiete zunimmt (Fig. 455). Die Linien gleichen Druckes selbst verlaufen unregelmäfsig und lassen deutlich erkennen, dafs die Luft ein nach innen gerichtetes Gefälle hat, welches da am gröfsten ist, wo sie einander am nächsten liegen.

Fig. 455.



Linien, welche die Orte gleichen Barometerstandes miteinander verbinden, werden **Isobaren** *genannt.*

Das Gebiet niedrigsten Luftdruckes wird **barometrisches Minimum** *(Depressionsgebiet) genannt; die Luftdruckdifferenz für die Entfernung von einer geographischen Meile wird als* **barometrischer Gradient** *bezeichnet.*

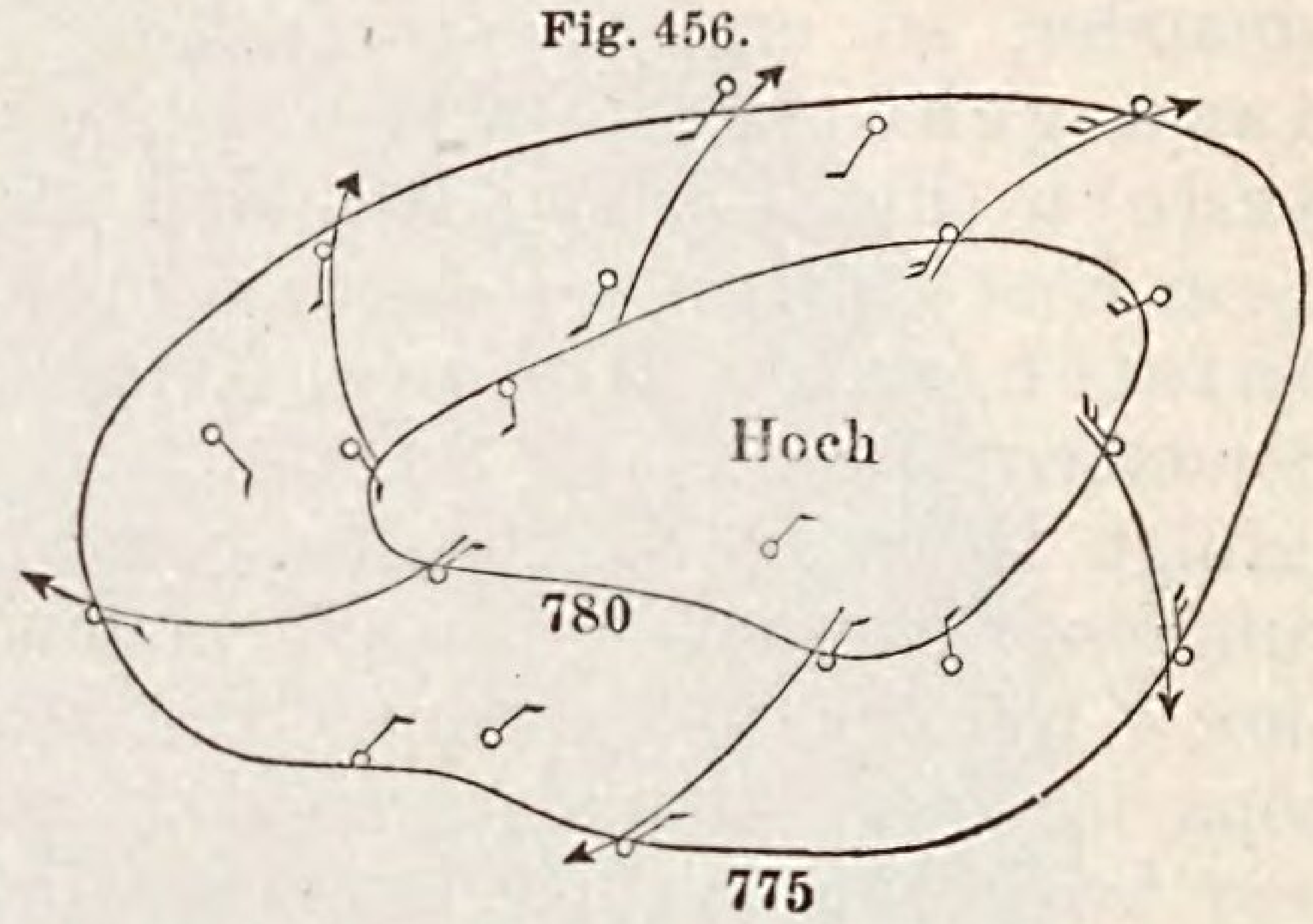
Die Gröfse des Gradienten wird in der Weise ausgedrückt, dafs man angiebt, um wieviel Millimeter der (auf Meereshöhe und 0⁰ berechnete) Luftdruck abnimmt, wenn man sich senkrecht zu den Isobaren, also in der Richtung des gröfsten Gefälles, um 1 geogr. Meile fortbewegt. Bei den heftigsten Stürmen beträgt in unseren Breiten der Gradient 0,2 bis 0,3 mm für die geogr. Meile, bei den Orkanen in Tropengegenden steigt er bis zu 1 mm.

Werden in eine Karte aufser den isobarischen Linien auch die *Windrichtungen* eingetragen (siehe Fig. 455), so zeigt sich die auffällige Erscheinung, dafs dieselben nicht mit den Richtungen des stärksten Gefälles übereinstimmen, sondern in spiralförmigen Linien das Gebiet des geringsten Druckes umkreisen. Dies erklärt sich wiederum aus der Achsendrehung der Erde. Ohne dieselbe würde die Luft nur der Schwere folgen und auf dem kürzesten Wege (senkrecht zu den Isobaren) von den Orten höheren Druckes nach denen niedrigeren Druckes fliefsen. Durch die Achsendrehung der Erde aber wird sie von dieser Richtung abgelenkt und zwar auf der nördlichen Erdhälfte nach rechts, auf der südlichen nach links. Dadurch entsteht eine drehende Bewegung der Luftmasse, welche das Minimum von rechts nach links (entgegengesetzt dem Zeiger einer Uhr) umkreisen mufs: **Luftwirbel** oder **Cyclone.** Diese Bewegung ist um so stärker, je enger die Isobaren aneinander liegen (die Befiederung an den Pfeilen in Fig. 455 bezeichnet die Windstärke).

Die Verteilung des Luftdruckes kann indes auch eine derartige sein, dafs sich um ein Gebiet höchsten Druckes **(Luftdruckmaximum)**

Orte niedrigeren Druckes gruppieren (Fig. 456). In diesem Falle fliefst die Luft nach aufsen ab, wobei sie ebenfalls durch die Rotation der Erde abgelenkt wird. Infolgedessen weht der Wind in spiraligen Bahnen, deren Drehungsrichtung mit der eines Uhrzeigers übereinstimmt. Die Abnahme des Druckes, sowie die Abweichung von der Richtung des gröfsten Gefälles ist bei dieser Druckverteilung gewöhnlich viel schwächer, also auch die Krümmung der Windbahnen und die Windstärke eine geringere (Befiederung der Pfeile in Fig. 456).

Fig. 456.



Über den Zusammenhang zwischen Luftdruck und Windrichtung gelten demnach folgende Gesetze:

1. Der Wind weht stets von den Orten, welche einen höheren Luftdruck haben, nach den Orten niedrigeren Luftdruckes hin.

2. Alle Winde werden auf ihrem Wege abgelenkt, und zwar auf der nördlichen Erdhälfte nach rechts, auf der südlichen nach links.

Für die Auffindung der Luftdruck-Minima und -Maxima ergiebt sich demnach für die nördliche Erdhälfte die einfache Regel:

Wendet man dem Winde den Rücken zu, so liegt das Minimum etwas nach vorn links, das Maximum etwas nach hinten rechts.

Das angeführte Gesetz, welches den Zusammenhang zwischen Luftdruck und Windrichtung ausspricht und die Vorausbestimmung der letzteren ermöglicht, mufs als die wichtigste Errungenschaft der neueren Witterungskunde bezeichnet werden. Man nennt dasselbe nach dem holländischen Meteorologen Buys Ballot (spr. Beis Ballo), der es 1857 zuerst anwendete, das **Buys Ballotsche Windgesetz.**

In Fig. 457 und 458 sind zwei Windsysteme schematisch so dargestellt, als ob die Linien gleichen Druckes konzentrische Kreise bildeten, die Richtungen des gröfsten Gefälles also mit den Halbmessern der Kreise zusammenfielen und alle Windbahnen gleiche Krümmung hätten. Eine solche Luftdruckverteilung kommt in Wirklichkeit kaum vor. Beide Windsysteme erleiden vielmehr, besonders auf dem Festlande, durch verschiedene örtliche Einflüsse die mannigfaltigsten Abweichungen, sodafs sie oft sehr unregelmäfsig erscheinen. — Die Gebiete des höchsten Druckes haben gewöhnlich eine weit gröfsere Ausdehnung als die des niedrigsten Druckes (bisweilen mehrere hundert Meilen im Durchmesser); die Windsysteme selbst erstrecken sich nicht selten über ganze Erdteile.

Fig. 457.

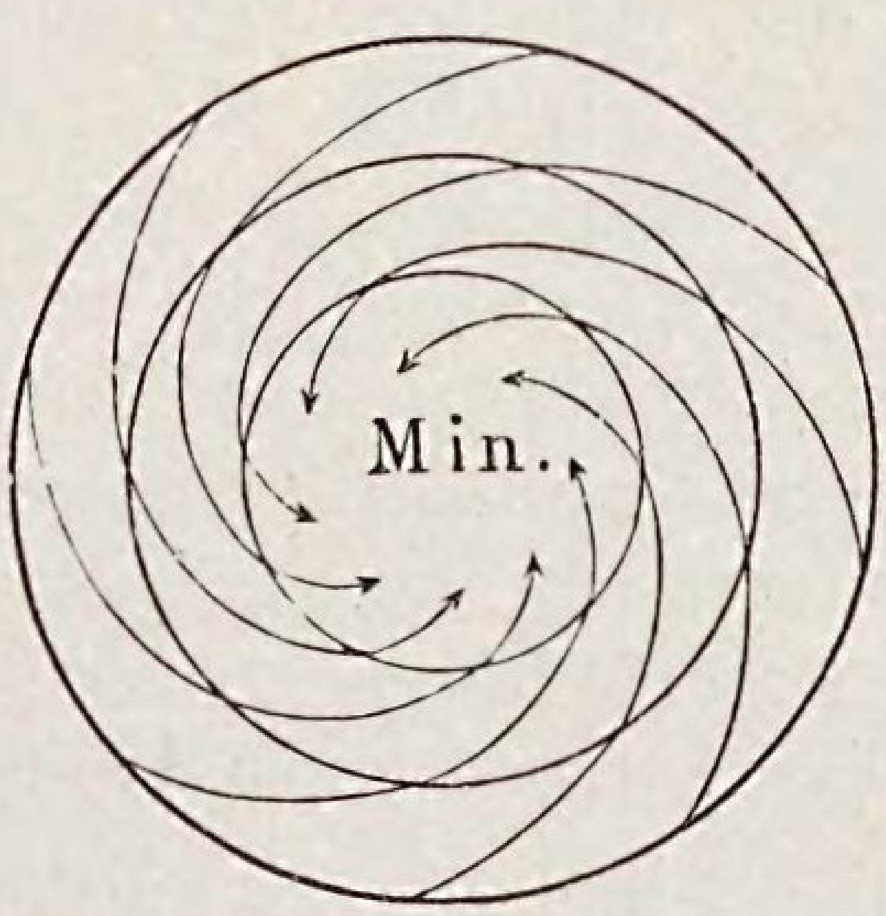
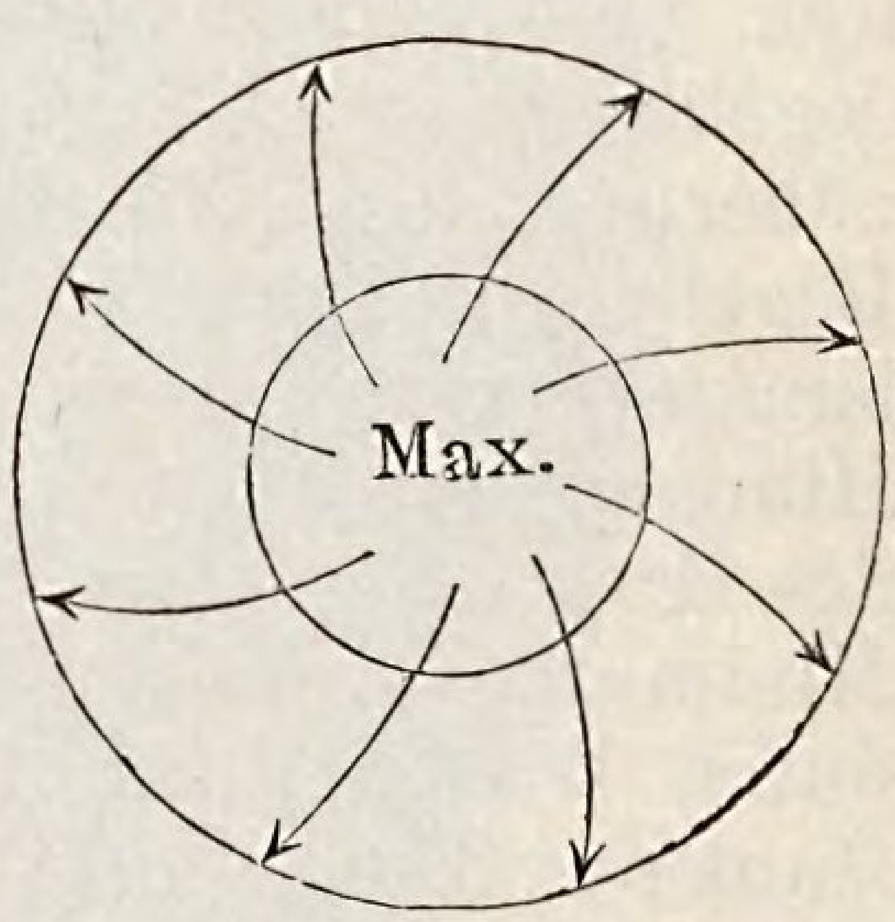


Fig. 458.



Fortbewegung der Luftdruckminima. Vergleicht man die Verteilung des Luftdruckes an mehreren aufeinander folgenden Tagen miteinander, so ergiebt sich, dafs die Luftdruckminima mit den dazu gehörigen Windsystemen ihre Lage meist schnell ändern (Fig. 459 und 460, folg. Seite) und gewöhnlich bald nach dem Entstehen wieder verschwinden, während andere neu entstehen. Die Luftdruckmaxima dagegen lagern meist längere Zeit über derselben Gegend. Die Richtung, in welcher die Verschiebung der Minima erfolgt, ist zwar verschieden, jedoch hat man durch fortgesetzte Beobachtung entdeckt, dafs sie im allgemeinen gewisse Wege einhalten, welche man ihre Zugstrafsen nennt. Die Minima, welche für das nördliche Europa in Frage kommen, machen sich in der Regel zuerst westlich von den britischen Inseln bemerkbar und ziehen in östlicher oder nordöstlicher Richtung weiter mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von etwa 100 km für den Tag, wobei jedoch sowohl in Bezug auf die Geschwindigkeit als auf die eingehaltenen Zugstrafsen sehr erhebliche Abweichungen vorkommen, die zum Teil von der Jahreszeit abhängen (im Winter nehmen z. B. die Minima oft eine südöstliche Richtung durch Frankreich nach dem Mittelmeer), zum Teil ganz regellos sind (manche Minima haben auch eine nördliche oder westliche Bewegungsrichtung).

Für die in Deutschland vorherrschenden Luftströmungen ist die Thatsache entscheidend, dafs bei weitem die meisten Minima nördan uns vorbeiziehen. Wie aus Fig. 457 hervorgeht, dreht sich nun der Wind für alle Orte, welche auf der Südseite eines fortschreitenden Minimums liegen, in folgender Weise: von Südost über Süd nach West und über Nordwest nach Nord (an der Rückseite des Minimums); der Wind dreht sich somit mit der Sonne, eine Erfahrungsthatsache, die man als das *Dovesche Winddrehungsgesetz* schon länger kannte (§ 84), die aber erst durch das *Buys Ballotsche Gesetz* ihre Erklärung findet. Wenn das Minimum südlich an einem Orte vorbeigeht, so mufs die Drehung des Windes von Südost über Ost, Nordost und Nord nach Nordwest erfolgen, also abweichend vom Doveschen Gesetz, welches mithin eine allgemeinere Giltigkeit überhaupt nicht haben kann.

Wind und Wetter. Das Wetter wird wesentlich von dem Verlauf der Minima bestimmt, wie eine genaue Beobachtung des Barometers und eine Vergleichung der von der deutschen Seewarte täglich herausgegebenen *synoptischen Karten* (Fig. 459 und Fig. 460) zeigt. Bei Annäherung des Luftwirbels fängt das Barometer an zu sinken und in der Regel deutet auch die Wolkenbildung (zuerst sehr hochschwebende, langgestreckte Federwolken, dann eine dickere Wolkenschicht am westlichen Himmel) auf die bald folgenden Niederschläge hin. Allmähliches Steigen des Barometers dagegen kündigt an, dafs das im Vorbeiziehen begriffene Minimum von einem Gebiet höheren Druckes abgelöst wird, welches sich durch Wiedereintritt hellen, trockenen Wetters (oft unter Bildung von Haufenwolken) und Umspringen des Windes nach Nord kennzeichnet. Diesen Charakter behält nun die Witterung bis zum Herannahen eines neuen Luftwirbels. Der Verlauf der Witterungserscheinungen, wie er sich beim Vorübergang eines Luftdruckminimums im allgemeinen abspielt, läfst sich durch Folgendes erklären:

Fig. 459.

Luftdruck vom 10. u. 11. Okt. 8 Uhr **und Wind** 1878 morgens.

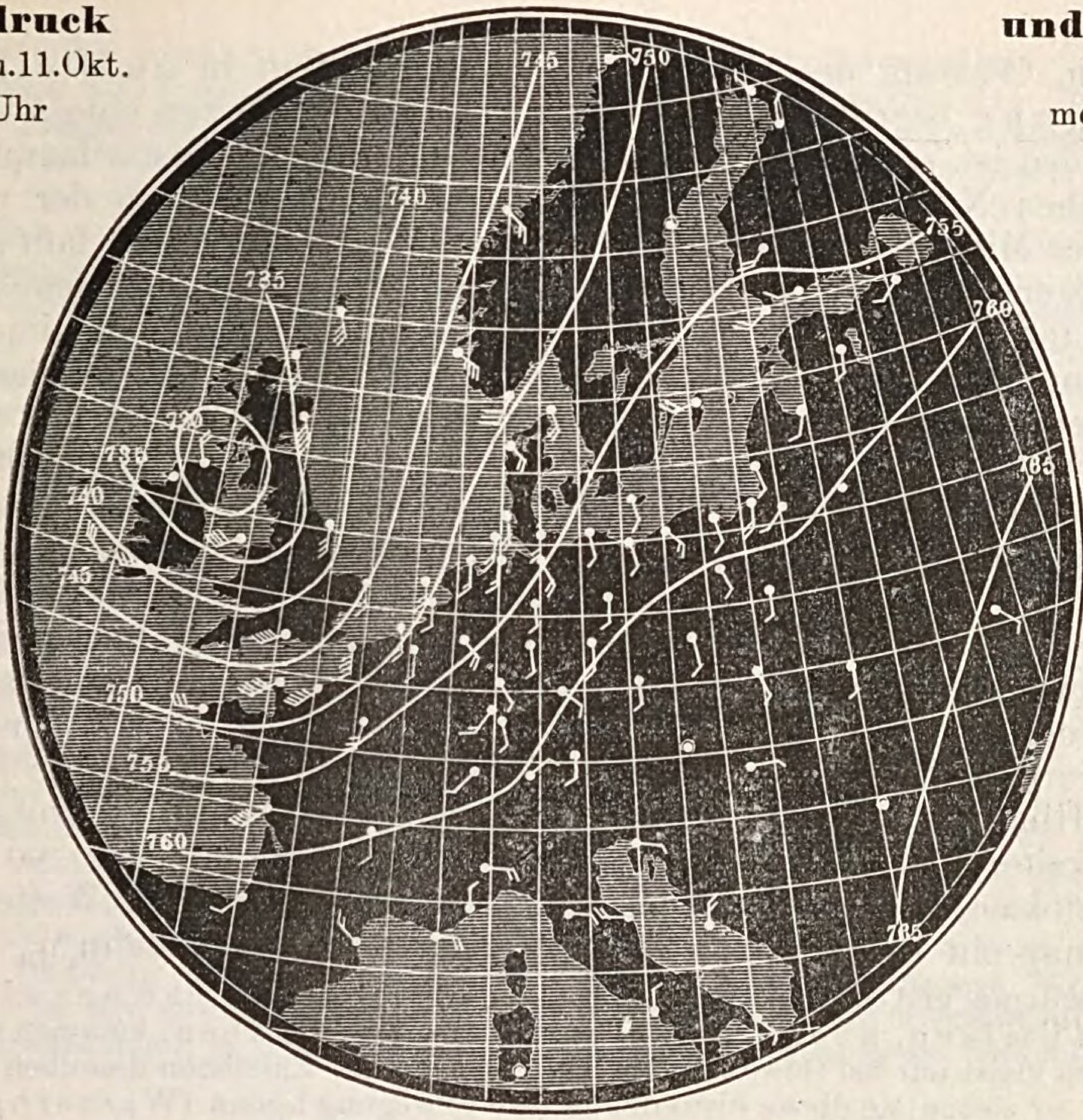
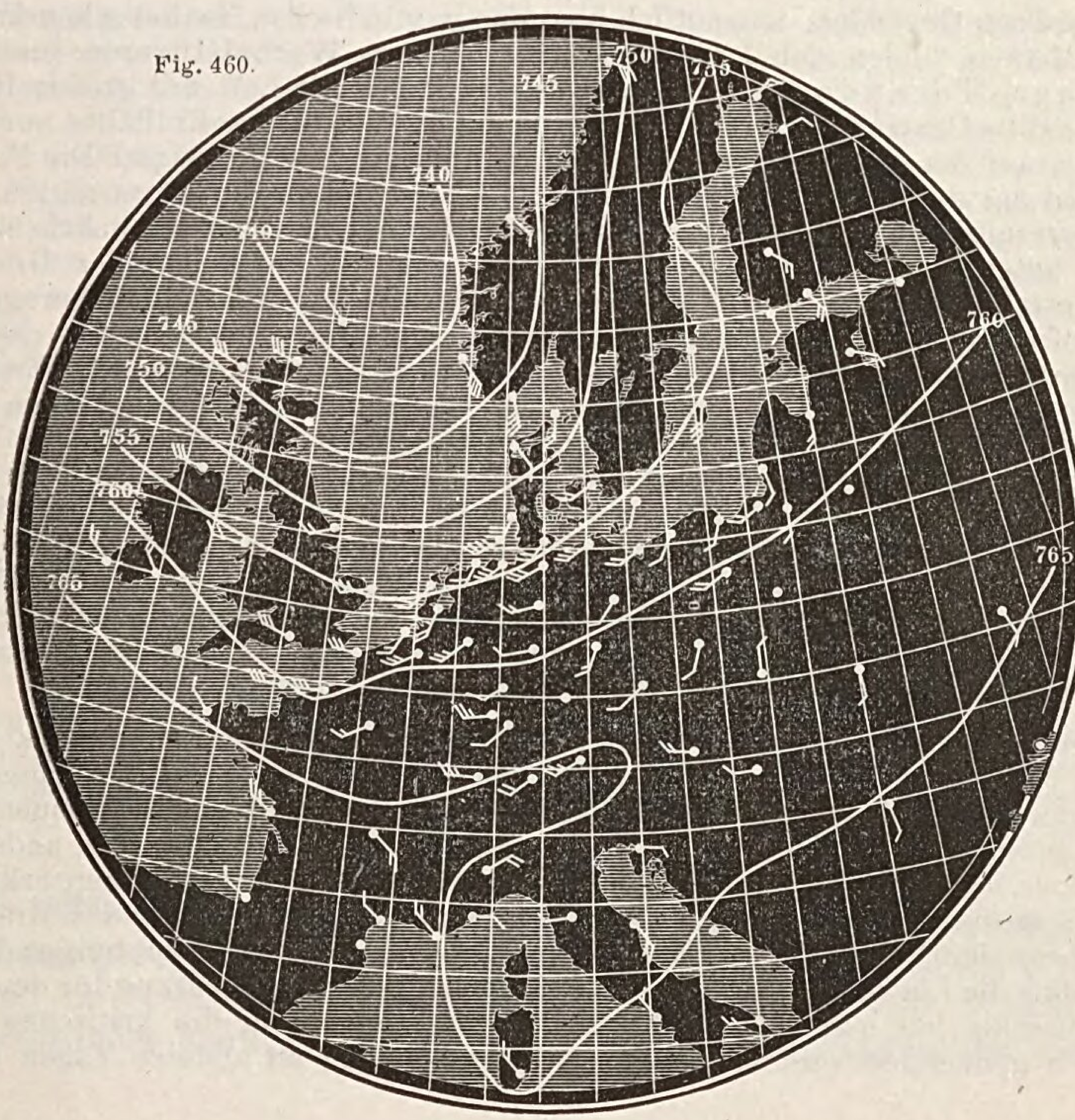


Fig. 460.



Im Centrum des Minimums mufs die Luft in aufsteigender Bewegung begriffen sein und da mit diesem Aufsteigen eine Abkühlung verbunden ist, so mufs dasselbe zur Verdichtung von Wasserdampf und zu reichlichen Niederschlägen Veranlassung geben. Auch auf der vorderen Seite des Minimums, wo Südost- und Süd-Winde herrschen, fällt gewöhnlich Regen, und ebenso auf der Südseite, wo warme und feuchte Südwest- und West-Winde wehen. Auf der Rückseite des Minimums dagegen mufs sich mit dem Übergange des Windes nach Nord das Wetter aufhellen (im Winter zu trockenem Froste) und während des nun folgenden Luftdruckmaximums klar bleiben, da ein Maximum immer durch eine absteigende Luftbewegung charakterisiert ist, womit stets eine Erwärmung der Luft und somit trockenes Wetter zusammenhängt.

Auf diesen allgemeinen Gesetzen beruht die Möglichkeit einer Vorausbestimmung der Witterung auf kürzere Zeit (höchstens einige Tage), wie sie von der deutschen Seewarte und vielen Wetterwarten auf Grund der täglich entworfenen Wetterkarten versucht wird. So grofs indes auch die Bedeutung einer sicheren Wettervorhersage (*„Prognose“*) in vielfacher Hinsicht ist, so sind doch andererseits die Witterungsvorgänge so verwickelter Art, und werden (namentlich im Binnenlande) so vielfach durch lokale Verhältnisse beeinflufst, dafs bis jetzt den Wettervorhersagen nur ein beschränkter Wert zugestanden werden kann.[1])

Stürme und Sturmwarnungen. Luftwirbel, welche nur einen geringen Umfang, aber eine heftige Bewegung haben, kommen in unseren Gegenden meist nur bei Gewittern vor (Windhosen). Entstehen dieselben über dem Wasser, so ziehen sie dieses bisweilen in ihre Bewegung hinein (Wasserhosen). In den tropischen Gegenden, namentlich über den westindischen, ostindischen und chinesischen Meeren, bilden sich derartige Wirbel leicht zu **Wirbelstürmen** (tropische Cyklonen, Tornados, Teifune) aus, bei denen die Luft mit grofser Heftigkeit das windstille Centrum umkreist, und zwar auf der nördlichen Erdhälfte in entgegengesetzter, auf der südlichen in gleicher Richtung mit dem Uhrzeiger. Die Fortschreitungsrichtung der Cyklone ändert sich beim Überschreiten der Passatregion. Da die Luftdruckerniedrigung im Centrum des Wirbelsturmes eine sehr beträchtliche ist (bis 60 mm unter den mittleren Barometerstand) und da aufserdem der Druck nach aufsen rasch zunimmt, so ist auch die Heftigkeit der drehenden Bewegung eine ganz aufserordentliche und dementsprechend sind die Verwüstungen, welche die Cyklonen anrichten, ganz gewaltige. Als eine sehr charakteristische Erscheinung wird die Windstille im Centrum des Sturmes geschildert, auf welche ein erneuter Ausbruch desselben in entgegengesetzter Richtung folgt. Die Kenntnis des Verlaufes der Cyklonen ist für die Schiffahrt von grofser Bedeutung und deshalb werden dieselben möglichst genau verfolgt. Der Seefahrer weifs, dafs sie im allgemeinen dem Laufe der warmen Meeresströmungen folgen (der Golfstrom wird deshalb „Sturmkönig“ genannt) und kann aus Änderungen des Luftdruckes und der Windrichtung die Lage des Wirbelcentrums bestimmen. Über die eigentliche Ursache ihrer Entstehung weifs man nur sehr wenig und vermutet, dafs starke Kondensation von Wasserdämpfen eine wesentliche Rolle dabei spielt.

[1]) Der uralte und weit verbreitete Glaube von einem Einflufs des Mondes auf das Wetter mufs, als auf ungenauen (zum Teil sogen. „unwillkürlichen“) Beobachtungen beruhend, zurückgewiesen werden; dasselbe gilt von der anscheinend wissenschaftlich begründeten Theorie, welche aus dem Einflufs des Mondes (und anderer Himmelskörper) das Auftreten besonders bedeutungsvoller Witterungsvorgänge erklären und deren Vorausbestimmung ermöglichen will (sogen. „kritische Tage“). Die genauesten wissenschaftlichen Untersuchungen und die praktischen Beobachtungen haben ergeben, dafs die Einwirkung des Mondes keine nachweisbare Bedeutung für den Wechsel der Witterung hat und dafs die Erscheinungen, welche für die kritischen Tage in Anspruch genommen werden, mindestens ebenso häufig an anderen Tagen eintreten.

Winde, deren Eigenschaften sich auf besondere örtliche Einflüsse zurückführen lassen, sind z. B. der *Föhn*, die *Bora*, der *Scirocco*, *Solano*, *Samum* u. a. Der **Föhn** ist ein trockener, warmer Wind, welcher besonders im nordöstlichen Teile der Schweiz mit stürmischer Gewalt auftritt. Er entsteht, wenn sich nördlich von den Alpen ein Gebiet niedrigsten Luftdruckes bildet, in welches die über die Alpenkette strömenden Südwinde gleichsam herabgesaugt werden. Diese haben ihren Wasserdampfgehalt beim Aufsteigen an der Gebirgskette abgegeben und stürzen nun als trockene Luftströme in die nördlichen Thäler hinab, dem Lauf derselben folgend und durch Zusammenpressen sich noch mehr erwärmend. Föhnartige Winde entstehen überall da, wo höhere Gebirgsketten von starken und wasserdampfreichen Luftströmungen überschritten werden (z. B. in Grönland, Norwegen, im kleineren Mafsstabe auch in den Thälern am nördlichen Harzrande). — Die **Bora** ist ein kalter Sturm, der vom Karstplateau in der Richtung nach dem adriatischen Meere weht, wenn im Süden desselben ein Luftdruckminimum liegt bei hoher Temperatur des Küstengebietes und starker Abkühlung des kahlen Plateaulandes.

Die genaue Erforschung der Gesetze, welche der Luftdruckverteilung und den Bewegungen der Atmosphäre zu Grunde liegen, ist für die Schiffahrt von gröfster Wichtigkeit, da diese Gesetze die einzig sichere Grundlage bilden für die Erteilung von Sturmwarnungen, welche den bedrohten Küsten von einer Centralstelle telegraphisch zugehen. Diese **Sturmwarnungen** werden an den betreffenden Küstenorten (in Deutschland etwa 80) durch optische Signale den Schiffern mitgeteilt, eine Einrichtung, die sich als sehr segensreich erweist, da man auf Grund der an der Centralstelle täglich eingehenden telegraphischen Nachrichten sowohl die Windrichtungen, als auch die Windstärken ziemlich sicher vorausbestimmen kann (die Seewarte in Hamburg erhält von etwa 100 Stationen aus ganz Europa täglich Depeschen). In der grofsartigsten Weise ist das System der Wettertelegraphie und der Sturmwarnungen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika ausgebildet.

Übungsstoff. 1. Wie ändert sich die Geschw. des W. eines Flusses mit der Entfernung vom Ufer und mit der Tiefe? Welche Anwendung auf die Bewegungen im Luftmeer läfst sich von dieser Beobachtung machen? (Wichtigkeit der Hochwetterwarten.) — 2. Unterschied des Einflusses, welchen Land und Meer auf die Geschw. der Winde ausüben? — 3. Bei ruhiger Luft erwärmt sich oft eine verhältnismäfsig kleine Bodenfläche bedeutend stärker als ihre Umgebung. Welcher Vorgang wird dadurch in der Atm. eintreten und welche Ersch. wird entstehen, wenn das (labile) Glgew. der Luft plötzlich gestört wird? — 4. Man denke sich durch das Centrum der Fig. 457 eine wagerechte Linie gelegt, welche die Zugstrafse des Luftwirbels andeute. Wie würde sich dann die Windrichtung an einem in der Geraden links an der Grenze des Wirbels gelegenen Orte ändern, wenn der Wirbel sich von links nach rechts fortbewegte? — 5. Desgl. an einem Orte, welcher nahe am Centrum und zwar a. nördlich, b. südlich, c. westlich, d. östlich von demselben liegt? (Man denke sich für jeden dieser Fälle etwa an den inneren Kreis in der Zugrichtung eine Tangente gezogen.) — 6. Wie ändert sich nach den beiden Wetterkarten, Fig. 459 und 460, die Windrichtung a. in Deutschland, b. der französischen Küste, c. an der Süd- und Ostküste von England und Schottland, d. an der Nordspitze von Schottland und auf den Shetlands-Inseln? — 7. Auf welcher von jenen Karten hat die Luft nach der gegenseitigen Lage der Isobaren im allgemeinen das gröfste Gefälle? Erkl.! — 8. Ein absteigender Luftstrom erwärmt sich bei je 100 m Abnahme der Höhe ungefähr um 1° C, ein aufsteigender Luftstrom kühlt sich ab. Wende dies auf den Föhn an. — 9. Inwiefern wird durch die Wolkenbildung das Aufsteigen der Luft befördert? (Erwärmung bei Kondensation von Wasserdampf, § 120.)

§ 130. Feuchtigkeit der Luft. (Hygroskop und Hygrometer.) Niederschläge. Von den Beimischungen der aus Sauerstoff und Stickstoff bestehenden atm. Luft ist nur dem Wasserdampf ein wesentlicher Einflufs auf die klimatischen Verhältnisse der Erde zu-

zuschreiben. Während jene beiden Gase in der Atmosphäre in unveränderlichem Verhältnis vorkommen, ist die Menge des Wasserdampfes sowohl von der Beschaffenheit der Erdoberfläche, als auch von der Temperatur und den Strömungen der Luft abhängig. Die Verdunstung an der Oberfläche der auf der Erde vorhandenen Wassermassen und die Ausscheidung von Wasserdampf durch die Pflanzenwelt sind die Hauptquellen der Luftfeuchtigkeit.

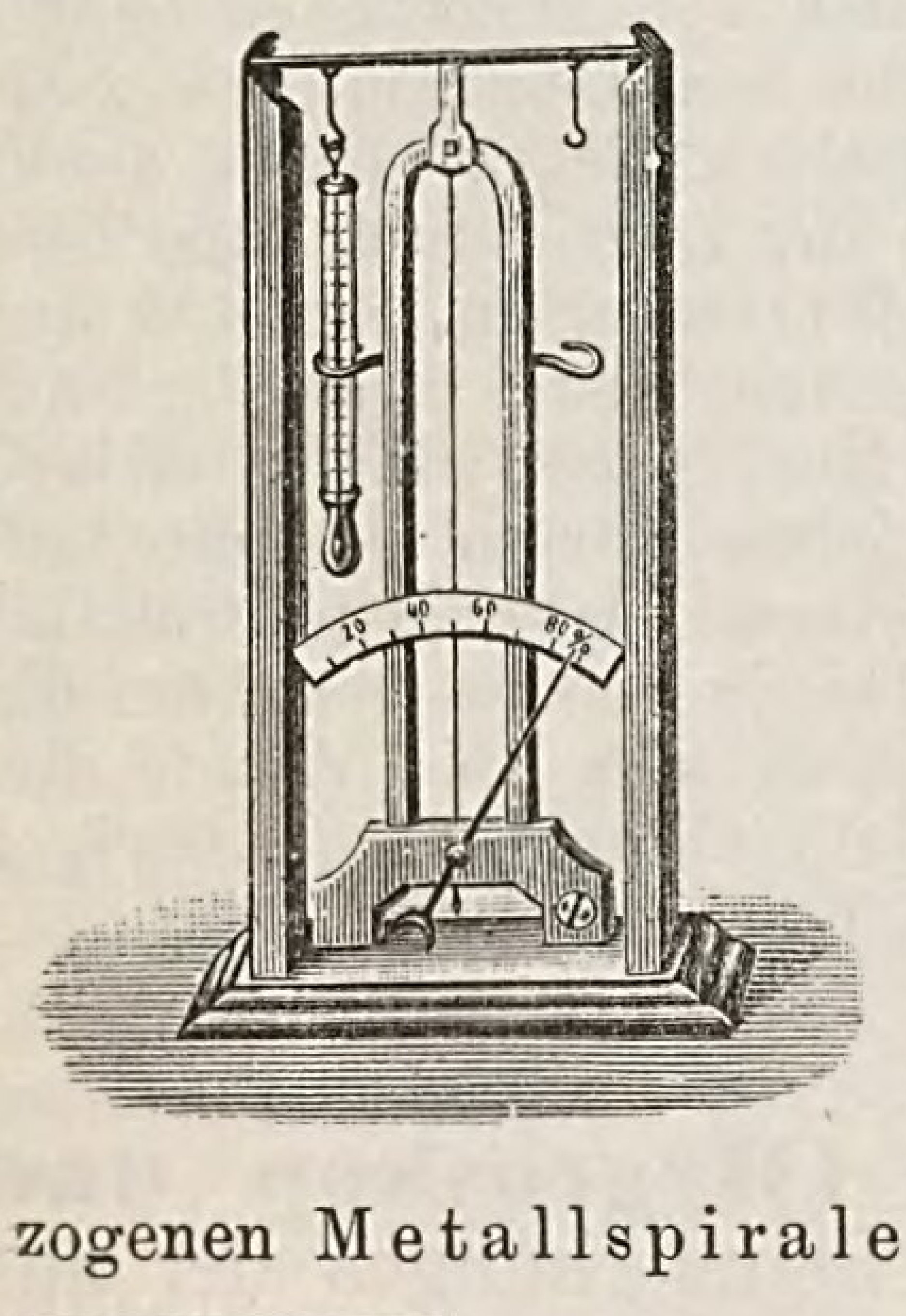
Nach unserer Empfindung bezeichnen wir als trockene Luft solche, welche von ihrem Sättigungspunkte weit entfernt ist, während feuchte Luft ihrem Sättigungspunkte sehr nahe ist. Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft kann entweder durch die Gewichtsmenge des in einer Raumeinheit (cbm) enthaltenen Wasserdampfes ausgedrückt werden *(absolute Feuchtigkeit)*, oder dadurch, dafs man angiebt, wieviel Prozent die in der Luft vorhandene Dampfmenge von derjenigen beträgt, welche mit Dampf gesättigte Luft von derselben Temperatur enthält *(relative Feuchtigkeit)*.

Wird mit Dampf gesättigte Luft abgekühlt, so verdichtet sich ein Teil des Dampfes und scheidet sich in Form feiner Wassertröpfchen aus. *Die Temperatur, bei welcher diese Ausscheidung beginnt, (bei welcher also die vorhandenen Dämpfe gesättigt sein würden) heifst* **Taupunkt.**

Instrumente, welche die Zu- und Abnahme der Luftfeuchtigkeit anzeigen, ohne eine genaue Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes zu gestatten, werden **Hygroskope**[1]) *genannt.* Der wesentlichste Teil derselben ist ein organischer Körper, welcher leicht Feuchtigkeit aufsaugt und sich dadurch verlängert oder verkürzt, je nachdem er ungedreht oder gedreht ist, z. B. entfettetes Menschenhaar, Darmsaiten (in den sogen. Wetterhäuschen), Fruchtgrannen vom Geranium u. s. w. — *Instrumente zur genauen Bestimmung des Wasserdampfgehaltes der Luft heifsen* **Hygrometer.**

1. Das **Haarhygrometer,** erfunden von *Saussure.* (Fig. 461 zeigt die verbesserte Einrichtung von *Koppe.*) Bei demselben dient die Verlängerung oder Verkürzung eines entfetteten ausgespannten Menschenhaares zur Bewegung eines Zeigers, der auf einem geteilten Kreisbogen die relative Feuchtigkeit in Prozenten anzeigt.

Fig. 461.



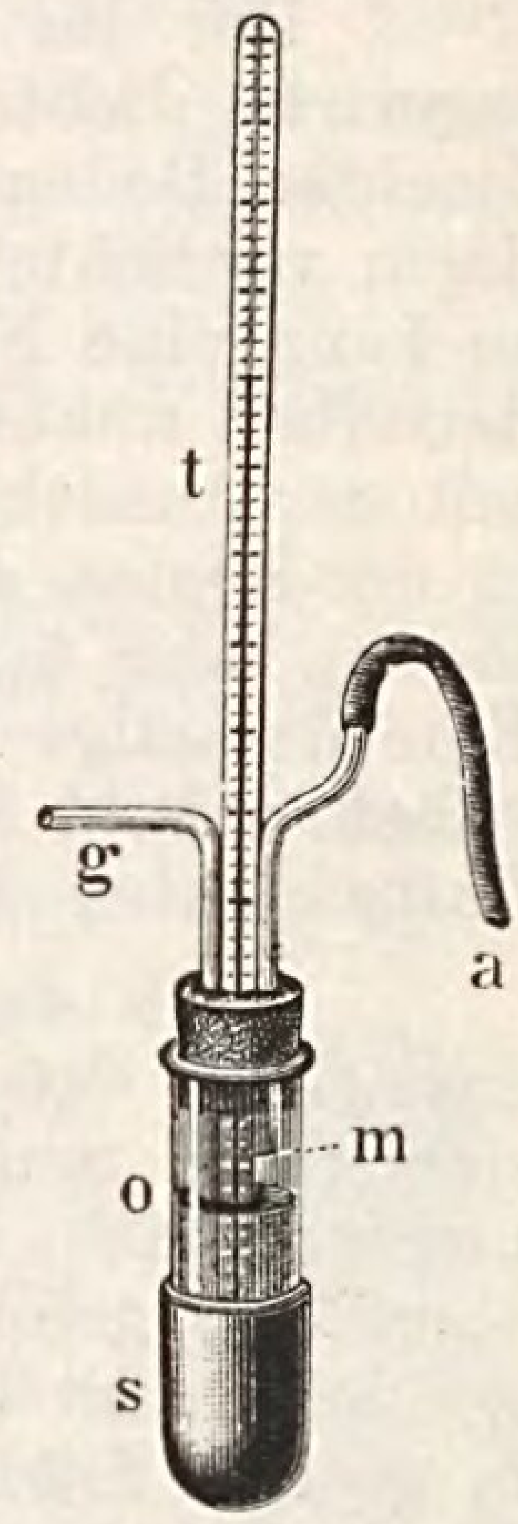
Aus der am Instrumente abgelesenen relativen Feuchtigkeit und der Temperatur der Luft läfst sich mittelst einer besonderen *Reduktionsscheibe* der Taupunkt leicht bestimmen. Die Einteilung der Skala wird durch einen Versuch erhalten und bedarf einer öfteren Prüfung.

Aufser anderen Haarhygrometern von mehr oder weniger verschiedener Einrichtung werden neuerdings auch Hygrometer empfohlen, bei denen z. B. die Bewegung einer mit einer hygroskopischen Membram überzogenen Metallspirale den Feuchtigkeitsgrad anzeigt.

[1]) ὑγρός (hygros), feucht.

2. Das **Kondensationshygrometer** beruht auf der Bestimmung des Taupunktes. Fig. 462 zeigt die Einrichtung, welche dem älteren Kondensationshygrometer von *Daniell* durch *Regnault* gegeben worden ist.

Fig. 462.

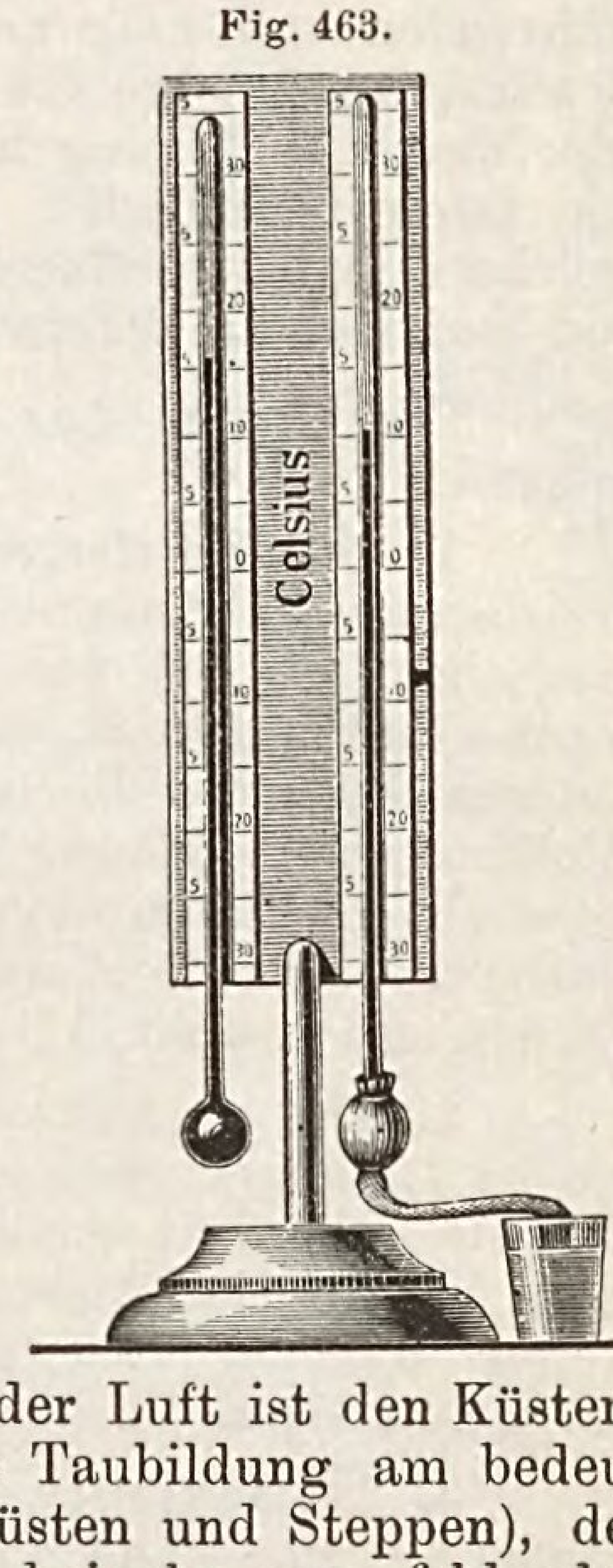


Ein aus poliertem Silber bestehendes Gefäfs (s) verschliefst eine bis zur Höhe o mit Äther gefüllte Glasröhre, in welche ein Thermometer (t) eingeführt ist. Durch den Kork, welcher die Glassröhre umschliefst, ist noch eine mit ihrer Mündung in den Äther eintauchende offene Röhre (g) und eine mit einem Gummischlauch (a) verbundene Röhre geschoben, deren Mündung (m) sich oberhalb des Äthers befindet.

Wird durch eine mit dem Schlauche verbundene Saugvorrichtung Luft und Ätherdampf entfernt, so bringt die durch das Rohr (g) eindringende Luft den Äther zum raschen Verdunsten und kühlt das ganze Gefäfs bis zum Taupunkt ab, sodafs sich auf dem Silber ein Niederschlag von Tau zeigt.

3. Das **Psychrometer**[1]) von *August* (Fig. 463) besteht aus 2 in Zehntel-Grade geteilten Thermometern; die Kugel des einen ist mit dünnem Zeuge überzogen, von welchem ein Docht in ein mit Wasser gefülltes Gefäfs hinabreicht.

Fig. 463.



Ist die Luft mit Wasserdämpfen gesättigt, so zeigen beide Thermometer die gleiche Temperatur an. Ist die Luft nicht gesättigt, so verdunstet Wasser und zwar um so mehr, je trockener die Luft ist. Dadurch sinkt die Temperatur des befeuchteten Thermometers und aus dem Temperaturunterschied läfst sich nach besonderen Tabellen der Feuchtigkeitsgehalt und Taupunkt der Luft finden.

Atmosphärische Niederschläge. Die Form der atmosphärischen Niederschläge ist nach der Art ihrer Entstehung verschieden. Sinkt die Temperatur der Erdoberfläche bis unter den Taupunkt der untersten Luftschicht herab, so entsteht, je nachdem der Taupunkt über oder unter dem Gefrierpunkte liegt, **Tau** oder **Reif**, und zwar um so mehr, je gröfser die Wärmestrahlung und je feuchter die Luft ist.

Eine starke Ausstrahlung bei grofsem Dampfgehalte der Luft ist den Küstenländern der heifsen Zone eigentümlich. Dort ist daher die Taubildung am bedeutendsten, während da, wo die Luft sehr trocken ist (in Wüsten und Steppen), der Tau fehlt. An der Westküste von Peru ersetzt der Tau den beinahe ganz fehlenden Regen. Da durch die Kondensation des Wasserdampfes Wärme erzeugt wird (§ 120), so wirkt die Taubildung der weiteren Abkühlung des Bodens entgegen. Hieraus ergiebt sich die praktische Regel, dafs im allgemeinen kein Nachtfrost zu erwarten ist, wenn der Taupunkt abends über 0^0 liegt.

Findet die Kondensation des Wasserdampfes nicht an den Gegenständen der Erdoberfläche, sondern frei in der Luft (oder auch an

1) ψυχρός (psychrós), kalt.

den Staubteilchen derselben) statt, so entstehen sehr kleine Wasserkügelchen, welche sich zu **Nebel** oder zu **Wolken** anhäufen.

Der im Frühling und Herbst häufig über Gewässern und Wiesengründen lagernde dichte *Nebel* entsteht dadurch, dafs von dem wärmeren Wasser oder feuchten Boden Wasserdämpfe in die darüber liegende kühlere Luft aufsteigen und darin verdichtet werden. Ist die Erdoberfläche durch Strahlung genügend erkaltet, so kann eine Nebelbildung dadurch eintreten, dafs wärmere feuchte Luft sich über derselben abkühlt. — *Wolken* entstehen namentlich durch die Abkühlung, welche mit der Ausdehnung aufsteigender feuchter Luft verbunden ist (vorwiegend in der Region der Kalmen, aber auch in den gemäfsigten Zonen an heifsen Sommertagen), oder durch Mischung feuchter Luftmengen von verschiedener Temperatur. Eine derartige Mischung wird stets eine Kondensation von Wasserdampf zur Folge haben, sobald die Luft dem Sättigungszustande nahe ist, was häufiger in den höheren Luftschichten der Fall sein wird.

Nach dem über die Vorgänge bei der Wolkenbildung Angeführten ist es erklärlich, dafs dieselbe vorzugsweise in den oberen Schichten der Atmosphäre vor sich gehen mufs und dafs ein eigentlicher Unterschied zwischen Nebel und Wolken nicht gemacht werden kann: Der Nebel ist nichts als eine unmittelbar an der Erdoberfläche gebildete Wolke, während eine Wolke, von unten auf einem Berggipfel gesehen, dem Bergsteiger oben als Nebel erscheint. Bei der Nebelbildung, wie sie in grofsen Städten besonders im Winter häufig ist („Londoner Nebel"), spielen die der Luft beigemischten Staub- und Rufsteilchen eine wesentliche Rolle.

Eine Wolke ist kein fertiges Gebilde, sie unterliegt vielmehr einer fortwährenden Auflösung und Umbildung, indem die bereits verdichteten Dämpfe durch Erwärmung (infolge von Strahlung oder Zusammenpressung) wieder gasförmig werden oder durch Berührung mit einem kälteren Gegenstande eine beständige Ausscheidung von Dampf stattfindet. Ein ausgezeichnetes Beispiel dieser Art bieten die Wolken, welche sich bei schönem Sommerwetter tagsüber an freistehenden Berggipfeln bilden und stundenlang scheinbar unbeweglich an denselben haften.

Die Form der Wolken ist sehr verschieden. Einige Hauptformen sind folgende:

1. Die **Haufenwolken** *(cumuli)*, d. h. Wolken mit scharf begrenzten halbkreisförmigen Rändern auf ziemlich breiter Grundfläche. Übereinander getürmt erscheinen sie oft wie ferne Schneegebirge. Sie entstehen dadurch, dafs feuchtwarme Luft aufsteigt, und sind daher in den tropischen Gegenden die häufigsten, in unseren Gegenden die besonders an heifsen Sommertagen gewöhnlich vorkommenden Wolkenformen. Häufig gehen dieselben auch in Gewitterwolken über (Gewittercumulus, „Champignonform"), während sie als eigentliche cumuli (von den Seeleuten „Baumwollenballen" genannt) als Vorboten guten Wetters angesehen werden können und gewöhnlich an der Rückseite barometrischer Minima auftreten (Seite 332).

2. Die geschichtete Haufenwolke *(cumulo-stratus)* und die **Regenwolke** *(nimbus)*. Wie überhaupt die Wolkenformen so viele Zwischenstufen zeigen, dafs sie sich nicht scharf trennen lassen, so geht auch die Haufenwolke häufig in diese zweite Hauptform über. Die Regenwolken sind dunkle, blauschwarze, bisweilen bis zur Erdoberfläche herabsinkende Wolkenmassen mit unbestimmten, unregelmäfsigen Umrissen und bedecken gewöhnlich grofse Teile des Himmels.

3. Als **Schichtwolke** *(stratus)* bezeichnet man niedrige, dunkelgraue Wolkenbänder, welche nahe über dem Horizonte lagern.

4. Die **Federwolken** *(cirri)* sind langgestreckte, Bändern oder Federn ähnliche Wolken, die in bedeutender Höhe (3000—8000 m) am Himmel schweben. (Vorboten regnerischen Wetters, Seite 332.) Am Horizonte erscheinen sie rot gefärbt. Oft zerteilen sie sich in kleine, rundliche Häufchen und bilden dann die sogen. Schäfchen. Es ist anzunehmen, dafs die Federwolken aus feinen Eisnadeln bestehen.

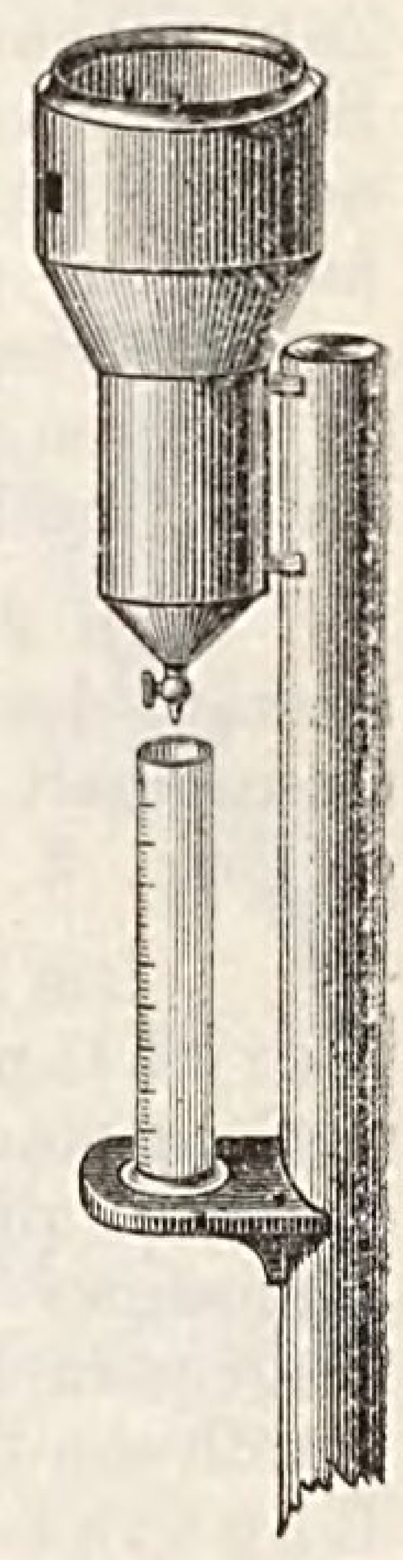
Tritt in den Wolken eine rasch fortschreitende Abkühlung ein, so entsteht bei einer Temperatur über 0^0 **Regen**, unter 0^0 **Schnee**. Durch die Häufigkeit und Menge der dem Boden zugeführten atm. Niederschläge

wird die Fruchtbarkeit eines Landes und der klimatische Charakter desselben wesentlich bedingt. Die Häufigkeit des Regens pflegt man durch die Anzahl der Tage anzugeben, an denen es innerhalb eines Monates oder Jahres in einer bestimmten Gegend geregnet oder geschneit hat. Als Regenhöhe bezeichnet man die Höhe, welche das Regenwasser oder das durch Schmelzen des Schnees entstehende Wasser auf dem Boden einnehmen würde, wenn durch Abflufs oder Verdunsten nichts verloren ginge.

Über die selteneren Niederschläge, welche für die Meteorologie von untergeordneter Bedeutung sind, wie Hagel, Graupeln u. s. w., siehe §§ 36 und 118.

Regenmesser (Fig. 464). Zur Messung des Regens und Schnees dienen Regenmesser, Blechgefäfse, welche nahe über dem Boden frei aufgestellt werden und aus 2 aufeinander befestigten Cylindern mit trichterförmigem Boden bestehen. Der obere Cylinder dient zum Auffangen, der untere, durch einen Hahn verschliefsbare Cylinder zur Ansammlung des Wassers (oder aufgetauten Schnees). Das Wasser läfst man in ein Mafsglas abfliefsen, an welchem man die Regenhöhe (nach cm gemessen) unmittelbar ablesen kann.

Fig. 464.



Die gröfste Regenmenge auf der Erde kommt da vor, wo täglich warme, dampferfüllte Luftmassen aufsteigen und sich in der Höhe abkühlen, oder wo hohe Gebirgszüge von feuchtwarmen Winden getroffen werden, da Gebirge die Winde zum Emporsteigen zwingen, wobei letztere sich abkühlen und somit Wasserdampf ausscheiden müssen. Infolgedessen haben Gebirgsketten eine stärkere Bewölkung und gröfsere Regenmenge als ihre Umgebung, und besonders gilt dies von der den feuchten Winden zugewandten Seite (der sogen. Luvseite). Im mittleren Europa ist dies die SW.-, W.- und NW.-Seite und deshalb zeigen auch die Gebirge (z. B. Harz, Thüringerwald, Schwarzwald, Riesengebirge) auf dieser Seite eine stärkere Bewölkung und gröfsere Niederschlagsmenge als auf der vom Winde abgewandten Seite (der Leeseite). Durch sehr hohe Gebirgswälle kann den Winden ihre Feuchtigkeit so vollständig entzogen werden, dafs dahinterliegende Landstrecken regenlos bleiben und dadurch zu Wüsten werden (Wüste Gobi, Kalahari), während andererseits auch das beständige Wehen trockener Passatwinde den Wüstencharakter bedingen kann (Wüstengürtel von der Sahara bis nach Persien).

Man teilt die Erdoberfläche in bestimmte Regenzonen. In der **Zone des beständigen Regens (Kalmenzone)** finden fast ohne Ausnahme täglich, besonders nachmittags, heftige Regengüsse mit Gewitterbildung statt; nachts ist der Himmel wieder heiter.

In der **Zone der Sommerregenzeiten (tropische Zone),** die zu beiden Seiten des Kalmengürtels in den Gebieten der Passatwinde (ungefähr bis zum 15. Grade) liegt, giebt es zwei Regenzeiten, welche um so schneller aufeinander folgen, je weiter die Orte vom Äquator entfernt sind. Zu den Zeiten der beiden höchsten Sonnenstände weht nämlich der Passat nur sehr schwach, und es findet dann täglich morgens ein starkes Aufsteigen feuchtwarmer Luft statt, worauf ähnlich wie in der Kalmengegend Gewitterregen folgt. In der kurzen sommerlichen Zwischenzeit wird der Passat wieder etwas stärker und der Regen nimmt ab, während in der langen winterlichen Zwischenzeit der Passat ungeschwächt weht und keine Wolke am Himmel aufsteigt. Näher dem Wendekreis folgt eine einfache Sommerregenzeit, da die Zenithstände der Sonne zeitlich näher zusammenliegen.

Die darauf folgende **Zone des Winterregens (subtropische Zone,** etwa bis zum 40. Grade) wird in ihrem südlichen Gebiete (z. B. Nordafrika, südlicher Teil von Portugal und Spanien, Unteritalien u. s. w.) im Winter von dem herabsinkenden

feuchten Äquatorialstrome beherrscht, sodafs hier nur Winterregen entsteht. In den nördlichen Gebieten dieser Zone streift jener Wind die Länder zweimal, nämlich im Frühling und im Herbst. Infolgedessen bringen diese beiden Jahreszeiten dort den meisten Regen. Der Sommer ist in der ganzen subtropischen Zone trocken und der Himmel fast immer heiter, da dann nördliche Winde vorherrschen.

In der **Zone der veränderlichen Niederschläge**, in welcher wandernde Luftdruck-Minima und Maxima mit ihren Windsystemen das Wetter beherrschen, sind die Niederschläge gleichmäfsiger auf das ganze Jahr verteilt. In Europa erhalten die westlichen Küstenländer die meisten Niederschläge (bis 300 cm jährlich, am meisten Schottland und Norwegen) und zwar besonders im Herbst durch westliche Winde, während in den östlichen Ländern Europas der meiste Regen im Sommer durch aufsteigende Luftströme entsteht (am Ural nur 40 cm). In Deutschland nehmen die Niederschläge von W. nach O. zunächst ab, mit der Annäherung an die Gebirge jedoch wieder zu und an der östlichen Seite derselben wiederum ab. Für die klimatischen Verhältnisse Deutschlands und der Alpenländer sind folgende Zahlen bemerkenswert: Münster 69 cm, Berlin 59 cm, Posen 51 cm; — Hannover 57 cm, Brockengipfel mindestens 190 cm, Quedlinburg 55 cm, Gegend der unteren Saale unter 50 cm; — Leipzig 54 cm; München 81 cm, Salzburg 116 cm, Tolmezzo in den Dolomiten 244 cm. — Die Regenhäufigkeit ist in Deutschland am gröfsten im Harzgebirge und auf dem erzgebirgischen Plateau, am geringsten in einigen Gebieten des nördlichen Flachlandes (Gegend von Thorn, Riesa an der Elbe, Bernburg an der Saale).

In der **kalten Zone** wie auch in den Hochgebirgen wärmerer Klimate fällt anstatt des Regens vorwiegend Schnee, welcher sich im Gebirge zu gröfseren Massen ansammelt (Firn) und sich nach und nach in körniges Eis umwandelt (Gletscher, § 118).

Die Erfahrung hat gelehrt, dafs auch die Wälder für die klimatischen Verhältnisse eines Landes von grofser Bedeutung sind. Waldungen verlangsamen das Eindringen und Abfliefsen der atm. Niederschläge und erhöhen dadurch die relative Luftfeuchtigkeit einer Gegend. Da bewaldete Flächen sich langsamer erwärmen und abkühlen als der kahle Boden, so können in waldreichen Gegenden auch Temperaturgegensätze sich nicht in dem Mafse entwickeln wie in waldlosen Gegenden. Man kann daher die Wälder wie die Meere als klimatische Regulatoren bezeichnen.

Übungsstoff. **1.** Wodurch werden in der Natur im grofsartigsten Mafse Temp.-Gegensätze gemildert? (Meer und Atm. zu berücksichtigen!) — **2.** Wo sich Wolken bilden, mufs die Lufttemp. steigen; wie kann dadurch die Vergröfserung der Wolke zunächst gehemmt und ein Aufsteigen von Luft und Wolke bewirkt werden? — **3.** Warum entstehen bei SW.-Wind in Deutschland im allgemeinen im Winter leichter Wolken als im Sommer? — **4.** Erkläre die Abnahme der Niederschläge in Deutschland von W. nach O. — **5.** Wie erklärt sich der Regenreichtum von Schottland und Norwegen? — **6.** Durch den Südostpassat wird das nach den Anden hin ansteigende Gebiet der südlichen Nebenflüsse des Amazonenstromes mit in den Regengürtel der Kalmen hineingezogen. Erkl.! — **7.** Wie erklärt es sich, dafs ganz Vorderindien a. nur eine Hauptregenzeit hat, obgleich es in niederen Breiten der Passatregion liegt, b. eine bedeutend gröfsere Regenmenge hat, als sonst in jenen Breiten vorkommt? — **8.** Im Himalaya wurde in etwa 1300 m Meereshöhe eine jährliche Regenmenge von 1420 cm gemessen. Erkläre die auffällige Gröfse dieser Niederschlagsmenge im Zusammenhange mit der Ersch., dafs die nördlich vom Himalaya gelegene Wüste Gobi fast regenlos ist! — **9.** Warum kann beim Regenmesser (Fig. 464) von dem angesammelten W. nur äufserst wenig durch Verdunstung verloren gehen? — **10.** Die obere Öffnung eines Regenmessers betrage $\frac{1}{50}$ qm, das darin an einem Tage angesammelte W. 20 ccm. a. Wv. mm beträgt dann die Regenhöhe? b. Wie mufs die Teilung des Mefsglases eingerichtet sein (auf wv. ccm mufs 1 Teilstrich kommen), wenn an demselben die wirkliche Regenmenge direkt abgelesen werden soll?

VI. Abschnitt.

Vom Magnetismus.

(I. Lehrstufe, §§ 37—39.)

§ 131. Erdmagnetismus. Die Erscheinung, dafs eine Kompafsnadel in ihrer Ruhelage nach Norden und Süden zeigt, ist im allgemeinen überall auf der Erde wahrzunehmen. Bei einer Reise um die Erde von Westen nach Osten (oder umgekehrt) würden daher die Stellungen der Kompafsnadel mit den Richtungen der Magnetnadeln in Fig. 465 eine gewisse Übereinstimmung zeigen. — Wird eine Magnetnadel so aufgehängt, dafs sie sich um eine durch ihren Schwerpunkt gehende Achse in senkrechter Ebene drehen kann (Fig. 466), so neigt sich der Nordpol stark abwärts, auch wenn man die zur Aufhängung der Nadel dienende Schere mit der Nadel um 180° dreht. (Versuch.)

Fig. 465.

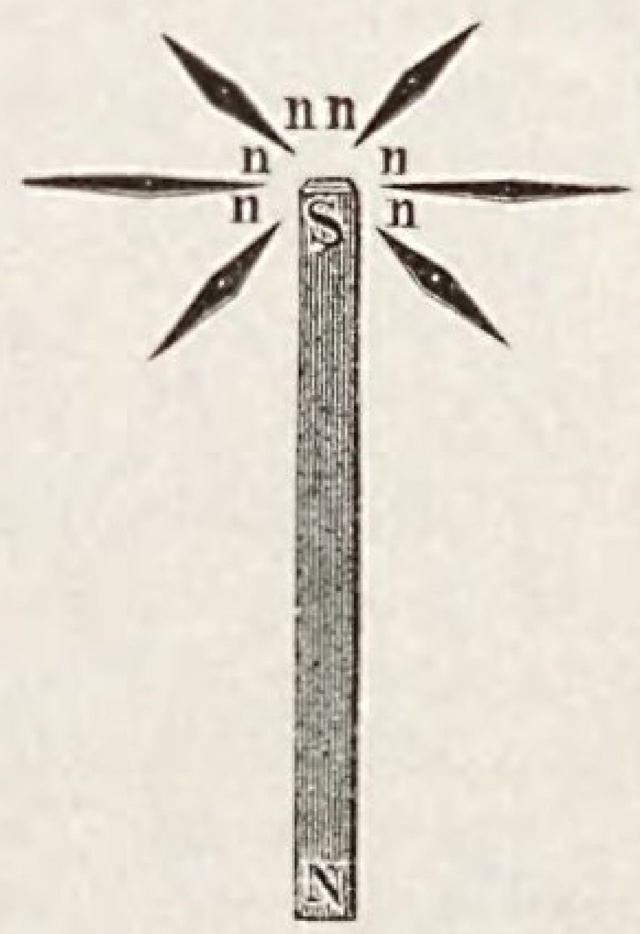
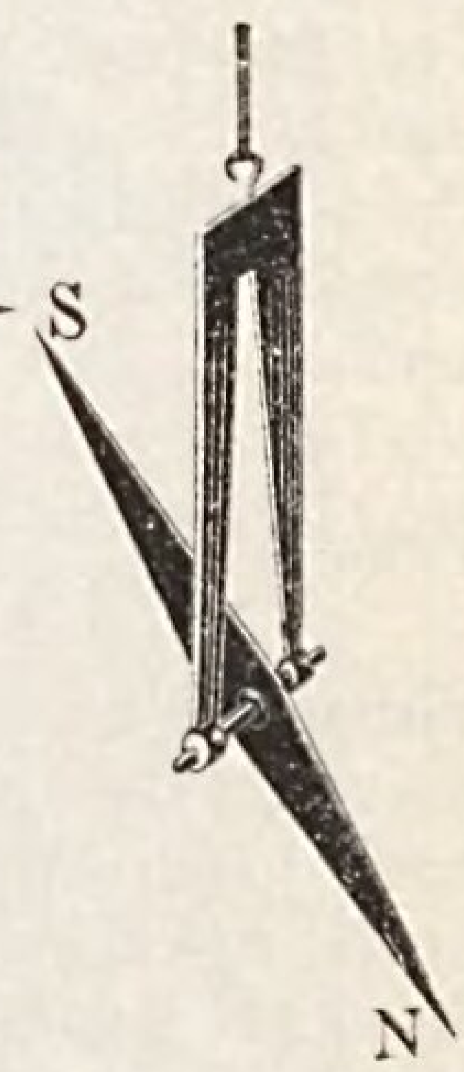
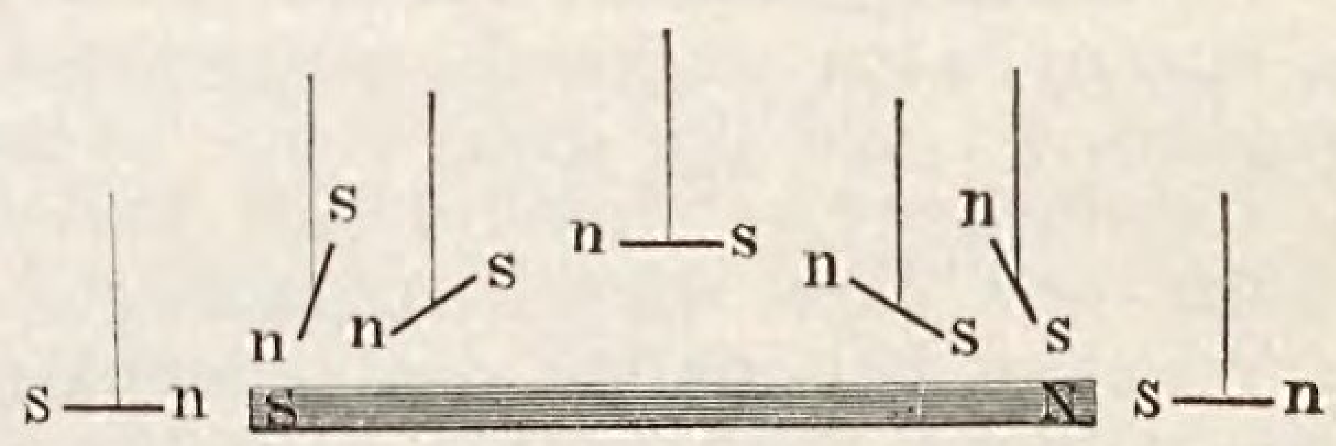


Fig. 466.



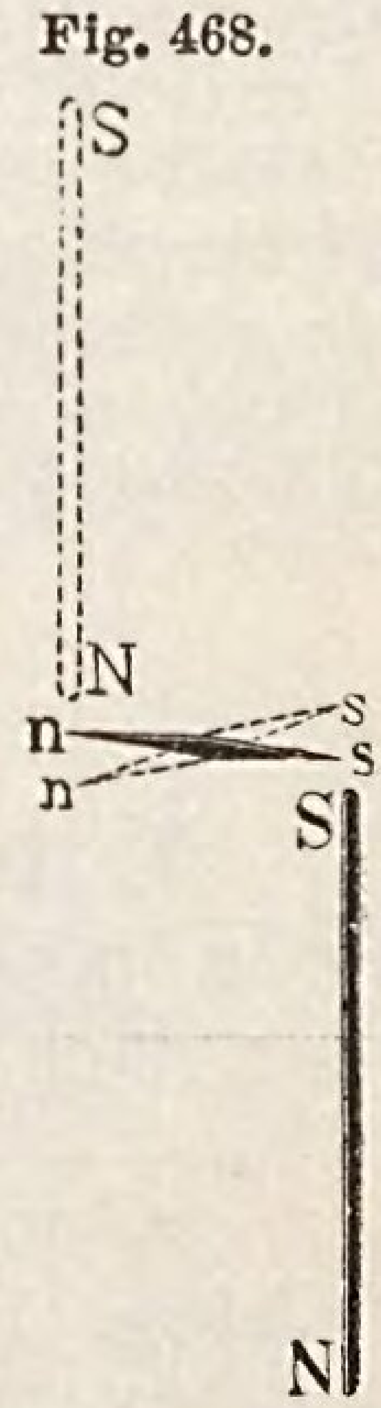
Beobachtungen an Orten verschiedener geogr. Breite lehren, dafs eine derartige Magnetnadel in der Äquatorgegend wagerecht steht, sich aber um so mehr neigt, je weiter man sich vom Äquator entfernt, wobei auf der nördlichen Halbkugel der Nordpol, auf der südlichen der Südpol abwärts gerichtet ist. (Vergl. den durch Fig. 467 veranschaulichten Versuch.)

Fig. 467.



Die Erde mufs demnach, da sie der Magnetnadel eine bestimmte Richtung erteilt, als ein grofser Magnet angesehen werden. Ihre magnetische Kraft ist auch geeignet, im Eisen Magnetismus hervorzurufen.

Fig. 468.



Versuch. 1. Untersucht man Eisenstäbe, welche längere Zeit aufrecht gestanden haben (z. B. Fensterstangen), so erweist sich das untere Ende derselben als nord-, das obere als südmagnetisch. 2. Ein Stab aus weichem Eisen bleibt unmagnetisch, so lange derselbe wagerecht von O. nach W. gerichtet ist, hält man ihn aber senkrecht oder schräg abwärts nach N., so verwandelt sich das untere Ende in einen Nordpol, das obere Ende in einen Südpol (Fig. 468). In seine ursprüngliche Lage zurückgebracht, zeigt er sich wieder unmagnetisch. 3. Ein Schlüssel aus weichem Eisen von etwa 8—10 cm Länge wird dem

Nordpol einer leicht beweglichen Kompafsnadel mit dem Bartende genähert und dann in wagerechter Lage seitlich verschoben; er wirkt als weiches Eisen anziehend. Bringt man aber Schlüssel und Magnetnadel wieder in die NS.-Richtung und richtet den Schlüssel auf, so wird der Nordpol der Nadel sofort abgestofsen.*)

Aus diesen Erscheinungen folgt:

Die Erde wirkt wie ein Magnet, und zwar ist die nördliche Halbkugel derselben südmagnetisch, die südliche nordmagnetisch.

Die magnetischen Eigenschaften der Erde wurden zuerst von Gilbert (um 1600) beobachtet. Im Jahre 1831 wurde vom Kapitän Rofs auf der Halbinsel Boothia Felix in 70° nördl. Br. zwischen Nordamerika und dem geogr. Nordpol der **magnetische Südpol der Erde** entdeckt. Die Inklinationsnadel stand hier senkrecht und war mit dem Nordpole nach unten gerichtet. Beim Umfahren des Poles zeigte die Deklinationsnadel immer nach demselben Punkte. Den **magnetischen Nordpol der Erde** hat man bis jetzt noch nicht erreicht, aber durch Berechnung hat man gefunden, dafs derselbe in etwa 73° südl. Br. auf dem Südpolarlande zwischen Neuholland und dem geographischen Südpole liegen mufs.

Bem. Die übliche Ausdrucksweise, nach welcher man den nach N. zeigenden Pol der Nadel als Nordpol bezeichnet, nötigt uns dazu, den auf der Nordhälfte der Erde gelegenen Pol als magnetischen Südpol anzusehen, da er nach dem Gesetz der Polarität (§ 38) den entgegengesetzten Magnetismus haben mufs, als das Nordende der Nadel. Um alle Schwierigkeiten und Verwechselungen, die sich aus dieser Bezeichnung ergeben können, zu vermeiden, wäre es am einfachsten, den nach Norden zeigenden Pol der Nadel den **nordsuchenden Pol** zu nennen und den anderen den **südsuchenden Pol.****) Die Franzosen nennen den nach N. zeigenden Pol der Nadel einfach den Südpol.

Übungsstoff. **1.** Ein unmagn. Stahlstab (z. B. eine Stricknadel) werde an einem Faden wagerecht aufgehängt. Was wird eintreten, wenn man den Stab magnetisiert und ihn dann wieder aufhängt, ohne den Befestigungspunkt des Fadens zu verschieben? — **2.** Wird eine horizontal hängende Magnetnadel bis zum Glühen erhitzt und dann wieder aufgehängt, so hängt sie schief. Was folgt daraus? — **3.** Welchen Pol mufste das herabhängende Ende vorher bilden? — **4.** Wie mufs eine in ihrem Schwerpunkt aufgehängte Nadel ihre Stellung ändern, wenn man sie wiederholt um 90° so dreht, dafs ihre Schwingungsebene a. von O. nach W., b. von S. nach N. u. s. w. gerichtet ist? — **5.** Ein Feuerhaken (Schüreisen) zeigt bei einem Versuche nach Fig. 468 Pole von ungleicher Stärke. Welches Ende desselben wird stärker magnetisch? — **6.** Was würde ein nach Fig. 468 angestellter Versuch auf der südlichen Erdhälfte ergeben? — **7.** Warum mufs man annehmen, dafs der magn. Südpol in der Nähe des geogr. Nordpoles liegt, wenn man das nach N. zeigende Ende der Kompafsnadel einen Nordpol nennt?

§ 132. Erdmagnetismus.

1. Deklination. Nur an wenigen Orten der Erdoberfläche zeigt die Kompafsnadel genau nach N. und S., sie weicht vielmehr nach O. oder nach W. ab. *Der Winkel, um welchen die Magnetnadel in ihrer*

*) Vergl. „Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht“, V. Jahrg. 1. Heft. Berlin 1891.

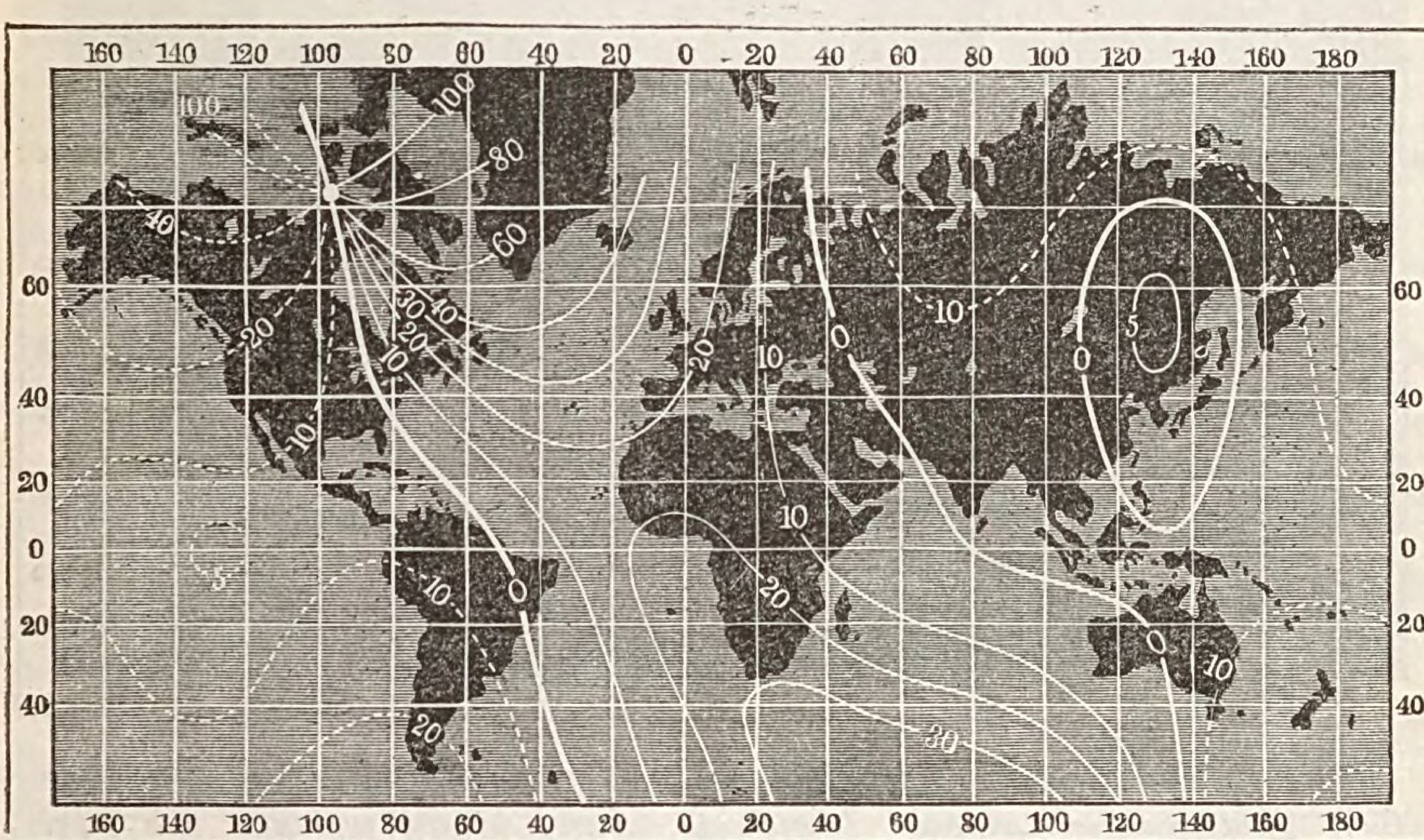
**) Vergl. Thompson, Vorlesungen über Magnetismus und Elektricität. Deutsche Übersetzung von Dr. Himstedt. Tübingen 1887.

Ruhelage von der astronomischen Nordsüdrichtung abweicht, wird **magnetische Deklination**[1]) (*magnetische Abweichung) genannt.*

Denkt man sich *durch die Achse einer ruhenden Deklinationsnadel eine senkrechte Ebene* gelegt, so bildet diese den **magnetischen Meridian** des betreffenden Ortes. Die magnetische Deklination ist demnach der Winkel, den der magnetische und geographische Meridian eines Ortes bilden.

Die magnetische Deklination ist an verschiedenen Orten der Erdoberfläche verschieden (Fig. 469). Fast in ganz

Deklinationskarte für das Jahr 1860. (Fig. 469.)



Europa (mit Ausnahme eines kleinen Teiles vom östlichen Rufsland) weicht der Nordpol der Nadel nach W. ab und zwar nimmt die Deklination nach den Westküsten hin zu. In Berlin beträgt dieselbe gegenwärtig etwa $10\frac{1}{2}{}^{0}$ und die jährliche Abnahme 7′.

Um die Gröfse und Richtung der magn. Deklination für die verschiedenen Orte der Erde übersichtlich darzustellen, hat man Karten hergestellt, auf denen die *Orte gleicher Deklination durch Linien miteinander verbunden sind.* Letztere werden **isogonische**[2]) **Linien** genannt (Fig. 469)

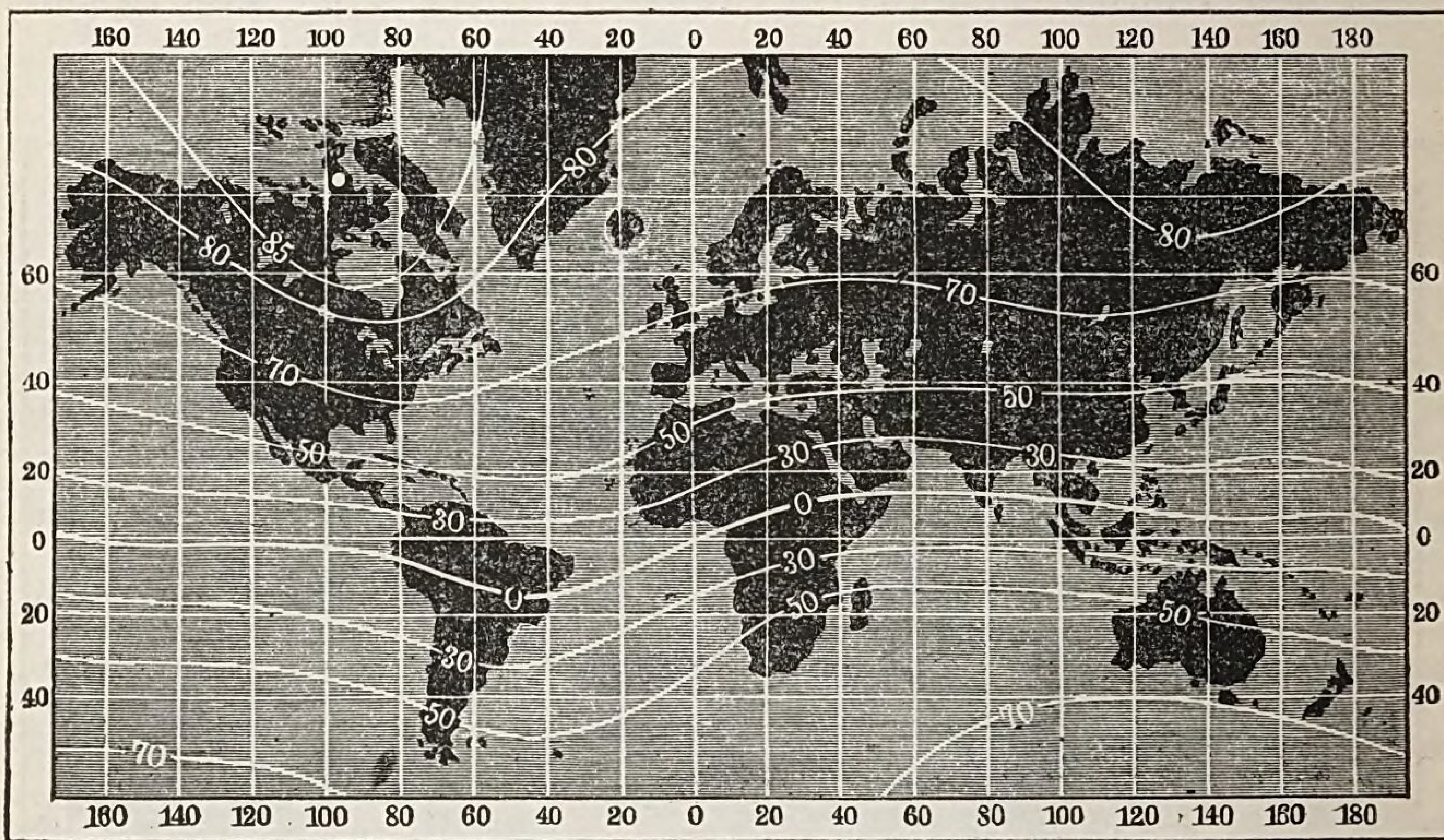
Bem. In Fig. 469 bezeichnen die stark ausgezogenen Linien die Orte ohne Deklination, die fein ausgezogenen Orte mit westlicher, die punktierten Orte mit östlicher Deklination. Die beigefügten Zahlen geben die Gröfse der Deklination an.

2. Inklination. Eine in ihrem Schwerpunkte aufgehängte Magnetnadel, welche in einer senkrechten Ebene schwingen kann, neigt sich auf der Nordhalbkugel der Erde mit ihrem Nordpol abwärts (Fig. 468). *Der Winkel, um welchen die Nadel in der Ruhelage von der wagerechten Richtung abweicht, wird* **magnetische Inklination**[3]) *(magnetische Neigung) genannt.*

[1]) declinare, abweichen. — [2]) ἴσος (īsos), gleich); γωνία (gōnia), Winkel.
[3]) κλίνω (klino), neige.

Die Inklination ist auf einer in der Nähe des Äquators gelegenen Linie gleich Null und wächst auf beiden Erdhälften nach den magnetischen Polen hin bis 90°. (In Berlin beträgt sie gegenwärtig ungefähr 66°.) Die Verteilung der Inklination auf der Erdoberfläche wird veranschaulicht, indem man auf einer Karte die Orte gleicher Inklination durch Linien verbindet (Inklinationskarte, Fig. 470).

Inklinationskarte für das Jahr 1860. (Fig. 470.)



Die Linien, welche Orte gleicher Inklination miteinander verbinden, heifsen **isoklinische Linien.** *Diejenige Linie, längs welcher die Inklination gleich Null ist und die Inklinationsnadel mithin wagerecht steht, wird* **magnetischer Äquator** *genannt.* Derselbe verläuft teils auf der nördlichen, teils auf der südlichen Erdhalbkugel und entfernt sich vom geographischen Äquator bis 10° nördl. und 15° südl. Breite.

3. **Intensität.** Durch die Gröfse der magn. Deklination und Inklination für einen Ort ist zwar die Richtung, nicht aber die Gröfse der magn. Kraft der Erde für diesen Ort bestimmt. Letztere, welche man die **Intensität**[1]) **des Erdmagnetismus** nennt, läfst sich dadurch ermitteln, dafs man eine und dieselbe Magnetnadel an verschiedenen Orten der Erde schwingen läfst und die Anzahl der Schwingungen bestimmt, welche die Nadel in gleichen Zeiten ausführt. Wie beim Pendel, so verhalten sich auch bei der Magnetnadel die Kräfte, welche die schwingende Bewegung hervorrufen, wie die Quadrate der Schwingungszahlen (Seite 185), mithin ergeben die Schwingungen der Inklinationsnadel an verschiedenen Orten die Gröfse der magnetischen Gesamtkraft ohne weiteres nach der Proportion $J : J = n^2 : n_1^2$.†)

[1]) Intensität = innere Stärke, von intendĕre, ausdehnen, spannen.

†) Auf die Schwingungen der Deklinationsnadel wirkt nur die horizontale Seitenkraft der erdmagnetischen Kraft ein, dieselben geben somit die Gröfse der letzteren nicht unmittelbar an; sie lassen jedoch in einfacher Weise eine Be-

Auf diese Weise hat man gefunden, dafs die Intensität des Erdmagnetismus nicht überall dieselbe ist. Sie ist am kleinsten am magn. Äquator und nimmt gegen die magn. Pole hin zu; die Punkte der stärksten Anziehung fallen jedoch nicht mit den Polen zusammen.

Linien, welche Orte gleicher Intensität des Erdmagnetismus miteinander verbinden, heifsen **isodynamische Linien.**

4. Variationen. Der magnetische Zustand der Erde unterliegt regelmäfsigen periodischen Änderungen: *Variationen des Erdmagnetismus.* Im gröfsten Teile Deutschlands zeigte die Deklinationsnadel vor ungefähr 200 Jahren genau nach N.; vor jener Zeit war die Deklination eine östliche, nachher wurde sie eine westliche. Aus früherer Zeit fehlen genaue Beobachtungen. Die westliche Deklination nahm bis vor ungefähr 60 Jahren zu und nimmt gegenwärtig wieder ab (für Paris betrug die Deklination 1663 0°, 1814 war sie am gröfsten, nämlich gleich 22° 35′). Die Inklination ist in Deutschland schon seit etwa 100 Jahren im Abnehmen. Ältere Beobachtungen fehlen ebenfalls. Über die Veränderungen der Intensität des Erdmagnetismus hat man erst in neuester Zeit regelmäfsige Beobachtungen angestellt.

Aufser diesen gröfseren Änderungen der Deklination und Inklination, welche sich erst nach vielen Jahren wiederholen und deshalb säkulare Änderungen heifsen, sind auch noch jährliche und tägliche regelmäfsige Schwankungen der Magnetnadel zu beobachten.

Die täglichen Schwankungen betragen nur wenige Bogenminuten und sind höchstwahrscheinlich von der täglichen Bewegung der Sonne und von der Wärmestrahlung abhängig.

Die jährlichen Änderungen im magnetischen Zustande entsprechen der Bewegung der Erde um die Sonne, indem die Inklination mit der Annäherung der Erde an die Sonne (vom Dezember bis Februar) zunimmt.

Auf eine Abhängigkeit von der Sonne deutet auch die merkwürdige Übereinstimmung der Magnetnadelschwankungen mit der elfjährigen Periode der Sonnenflecken hin. Diese Sonnenfleckenperiode ist in den täglichen Schwankungen der Magnetnadel so deutlich wiederzuerkennen, dafs man die letzteren aus der Zahl der Sonnenflecken bis auf Bruchteile der Minuten berechnen kann.

Bisweilen werden auf einem grofsen Teile der Erde und zwar gleichzeitig an den entlegensten Orten **magnetische Störungen** wahrgenommen, welche darin bestehen, dafs die Magnetnadel ruckweise ihre Lage ändert. Diese Erscheinungen treten häufig mit Erdbeben und vulkanischen Ausbrüchen zugleich auf, insbesondere aber zeigen sie einen Zusammenhang mit den Polarlichtern, die man deshalb geradezu „magnetische Gewitter“ genannt hat.

Übungsstoff. 1. In welchen Erdteilen giebt es nach Fig. 469 Orte, an denen die Dekl.-Nadel genau nach N. zeigt? — 2. Wo zeigt sich in der gegenseitigen Lage der Orte ohne Abweichung eine auffällige Ersch.? — 3. In welchen Erdteilen ist die Abweichung eine westliche und in welchen eine östliche? — 4. Nenne Gegenden der nördlichen Erdhälfte, in denen der Nordpol der Magnetnadel aus der nördlichen Richtung in eine südliche übergeht. — 5. Welche Richtungsänderung erleidet die Nadel des Schiffskompasses auf einer Reise von Hamburg durch den Kanal, den atlantischen Ocean, bis zur Westküste von Südamerika? (*Columbus* passierte 1492 die Linie ohne Abweichung.) — 6. Welches ist die Hauptrichtung der isokl. Linien, und wo weichen sie von den Parallelkreisen am meisten

rechnung derselben zu. Bezeichnen n und n_1 die Schwingungszahlen für eine und dieselbe Deklinationsnadel an 2 verschiedenen Orten, so erhält man, wenn die Inklinationswinkel w und w_1 für diese Orte ermittelt sind, die Proportion:

$$J \cos w : J_1 \cos w_1 = n^2 : n_1^2, \qquad \text{folglich:} \quad J : J_1 = \frac{n^2}{\cos w} : \frac{n_1^2}{\cos w_1}.$$

ab? — 7. Vergl. die Richtung des magn. mit der des geogr. Äquators. — 8. An welchen Punkten der Erde ist sowohl die magn. Deklination als auch die Inklination gleich Null? — 9. Welche Ersch. würde eine Inklinationsnadel auf der in Frage 5 angegebenen Reise zeigen?

§ 133. Abnahme der magnetischen Wirkung mit der Entfernung. Diamagnetismus. Molekularmagnete.

Wie die Stärke des Erdmagnetismus, so läfst sich auch die anziehende und abstofsende Kraft eines Magnetpoles nach der Anzahl der Schwingungen einer Magnetnadel bestimmen.

Versuch. Läfst man eine kleine Deklinationsnadel zunächst nur unter dem Einflufs des Erdmagnetismus und darauf auch unter der Einwirkung eines in der Schwingungsebene der Nadel befindlichen Magnetpols (vergl. Fig. 468) in 2 verschiedenen Abständen kurze Zeit schwingen, so ergiebt sich: 1) dafs die Zahl der Schwingungen mit der Annäherung des Magnetpoles wächst, 2) dafs die Quadrate der beiden Schwingungszahlen, nachdem man die Wirkung des Erdmagnetismus in Abzug gebracht hat, sich umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Abstände vom Magnetpole bis zur Mitte der Nadel. (Damit nur ein Pol auf die Nadel einwirken kann, ist ein ziemlich langer Magnetstab anzuwenden.)

Beispiel: Die Schwingungszahlen für 1 Min. seien 15, 24 und 41, und zwar: 15 unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus, 24 und 41 bei Anwendung eines Magnets, wenn die Abstände von demselben nacheinander 20 und 10 cm betragen. Es verhält sich $(24^2 - 15^2)$ zu $(41^2 - 15^2)$ wie 1 zu 4 (annähernd). Da nun die Kräfte, welche die schwingende Bewegung hervorrufen, den Quadraten der Schwingungszahlen proportional sind, so führen derartige Versuche zu dem Gesetze:

<u>Die Wirkung eines Magnetpoles nimmt in demselben Verhältnis ab, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt.</u>

In 2-, 3-, 4-...mal so grofsem Abstande ist die Wirkung eines Magnetpoles nur $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$... so stark als in der einfachen Entfernung.

Dasselbe Gesetz gilt für die *el. Anziehung* und *Abstofsung*. Es wird nach *Coulomb*, der es (1785) auffand und auch noch in anderer Weise bewies (mittelst der Drehwage, vergl. § 56), das **Coulombsche Gesetz** genannt.

Diamagnetismus. Nach den bisherigen Betrachtungen über Magnetismus könnte es scheinen, als ob die magn. Kraft nur auf Eisen und Stahl eine Wirkung ausübte. Dies ist jedoch keineswegs der Fall, wie mit Hilfe sehr kräftiger Magnete (Elektromagnete, vergl. § 140) nachgewiesen werden kann.

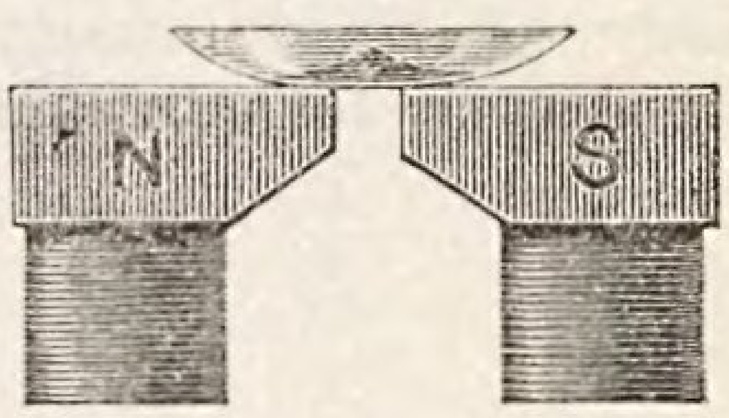
Untersucht man das Verhalten der Körper gegen Magnetpole mittelst eines solchen starken Magnets, so ergiebt sich, dafs auch Körper, welche nicht aus Eisen oder Stahl bestehen, der Einwirkung der magnetischen Kraft unterliegen. Von den Metallen werden z. B., wenngleich bedeutend schwächer als Eisen und Stahl, *Nickel, Kobalt* und *Platin* von beiden Polen eines Magnets angezogen; *Wismut, Antimon, Gold, Silber, Kupfer, Zink, Blei, Quecksilber* u. a. werden von beiden Polen abgestofsen. Auch an zahlreichen nicht metallischen festen, flüssigen und luftförmigen Körpern hat man entweder Anziehung oder Abstofsung beobachtet. So werden z. B. *Graphit, Eisenlösungen* und

Sauerstoff angezogen, *Schwefel, Phosphor, Wasser* und *Wasserstoff* dagegen abgestofsen.

Körper, welche von einem Magnet angezogen werden, ohne selbst Magnetismus zu besitzen, nennt man **paramagnetisch;** *Körper, welche abgestofsen werden, heifsen* **diamagnetisch.**

Die Unterscheidung von paramagnetischen und diamagnetischen Körpern ist von *Faraday* eingeführt worden, der (1845) die magnetischen Eigenschaften einer grofsen Anzahl von Körpern untersuchte. Die festen Körper hing er in Form kleiner Stäbchen an einem Faden leicht beweglich zwischen den Polen eines Elektromagnets auf, die Flüssigkeiten wurden in einem Uhrgläschen zwischen die Pole gebracht (Fig. 471 zeigt das diamagnetische Verhalten des Wassers), die Gase in Glasröhrchen oder Glaskugeln eingeschlossen.

Fig. 471.



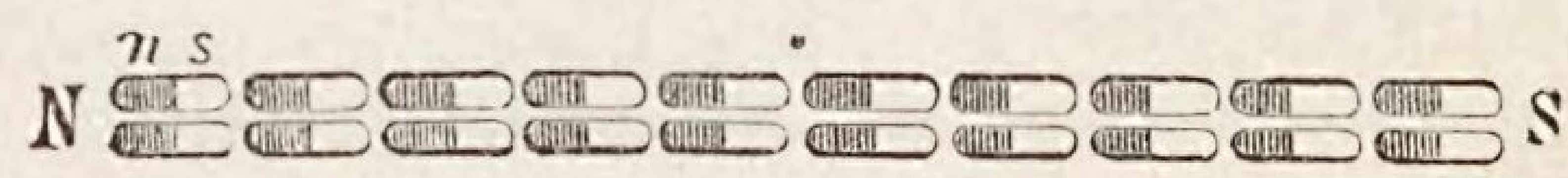
Molekularmagnete. Versuch 1. Bricht man einen Magnetstab in der Mitte durch und setzt die Teilung in dieser Weise fort, so bleibt jedes Stück ein vollständiger Magnet (Fig. 472). — **2.** Wird eine Glasröhre mit Stahlfeilspänen gefüllt und darauf magnetisiert, so bildet sie einen vollständigen Magnet, dessen Magnetismus wieder verschwindet, wenn man die Feilspäne durcheinander schüttelt.

Fig. 472.



Diese Erscheinungen haben zu der Annahme geführt, dafs die Massenteilchen (Moleküle) des gewöhnlichen Eisens wie jedes anderen magnetisierbaren Körpers von Natur Magnete **(Molekularmagnete)** bilden, welche im unmagnetischen Zustande alle denkbaren Lagen gegeneinander einnehmen, unter der Einwirkung eines Magnets aber sich so drehen, dafs die gleichnamigen Pole nach derselben Seite gerichtet sind (Fig. 473).

Fig. 473.



Hiernach kann man sich vorstellen, dafs die Moleküle des Stahles schwerer drehbar sind und auch schwerer wieder in die regellose Lage zurückkehren, als die Moleküle des Eisens. Ein Stab ist um so stärker magnetisiert, je mehr Moleküle die polare Richtung angenommen haben. In der Mitte heben sich die Wirkungen nach aufsen auf, da auf beiden Seiten gleichviele Nord- und Südpole aus gleicher Entfernung wirken, während dem einen Ende sämtliche Nordpole, dem anderen sämtliche Südpole näher liegen. Nach dieser Theorie ist es erklärlich, dafs ein Magnet von seinem Magnetismus nichts verliert, wenn man ihn zum Magnetisieren verwendet, dafs mit dem Magnetisieren eine Wärmeentwickelung verbunden ist und dafs dasselbe die Wärmeleitungsfähigkeit des betreffenden Metalles ändert.

Bem. Über die *Ampèresche* Theorie des Magnetismus vergl. § 140.

Übungsstoff. 1. Warum mufste der Magnetpol bei dem obigen Versuche in der Schwingungsebene der Nadel liegen? — **2.** Man will mit Hilfe des Horizontalpendels (Fig. 139) und einer isolierten Messingkugel einen dem obigen Versuche entsprechenden el. Versuch anstellen. Wie ist dies auszuführen? — **3.** Welchen Einflufs mufs es auf die Schnelligkeit, mit welcher die Magnetnadel (Fig. 468) schwingt, ausüben, wenn der Eisenstab durch einen Magnetstab ersetzt und dieser mehr und mehr genähert wird? — **4.** Wie kann man bewirken, dafs eine Magnetnadel unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus schneller oder langsamer

schwingt? — 5. Eine Magnetnadel mache zunächst 30 Schwingungen in 1 Min.; nachdem sie von neuem magnetisiert worden, betrage die Schwingungszahl 40. Wievielmal so stark ist der Magnetismus der Nadel geworden? — 6. Eine Dekl.-Nadel mache an einem Orte 40, an einem anderen 60 Schwingungen in 1 Min. Wie verhalten sich die magnetischen Kräfte zu einander, welche auf die Nadel einwirken? — 7. Wie verhält sich der auf die Dekl.-Nadel einwirkende Teil des Erdmagnetismus zu der Wirkung eines Magnetpoles, vor welchem eine Magnetnadel 90 Schwingungen in 1 Min. ausführt, wenn die Nadel ohne Magnet in 1 Min. 40 Schwingungen macht; — 8. Welche Lage werden Stäbchen von Eisen, Nickel, Wismut oder Kupfer annehmen, wenn man sie zwischen den Polen eines starken Magnets (Elektromagnets) leicht beweglich aufhängt? — 9. Wie lassen sich nach der Annahme von „Molekularmagneten" die Erschn. der magn. Verteilung (§ 38) erklären?

VII. Abschnitt.

Die Lehre von der Elektricität.

A. Reibungs-Elektricität.

(I. Lehrstufe, §§ 40—49.)

B. Berührungs-Elektricität oder Galvanismus.

§ 134. Grundversuche. Die Erscheinungen der elektrischen Verteilung (Influenz, § 43) nötigen zu der Annahme, dafs die Elektrisierung eines Körpers in einer Trennung der in ihm vorhandenen Elektricitäten besteht. Bis Ende des vorigen Jahrhunderts kannte man nur die Reibung als eigentliches Mittel zu einer solchen Trennung der Elektricitäten. Da fand *Volta*, dafs man leitende Körper auch ohne Reibung in den elektrischen Zustand versetzen könne, weil die blofse Berührung zweier Metalle mit einem feuchten Leiter (Säure oder Salzlösung) eine Elektricitätsquelle sei. Die auf diese Weise erzeugte Elektricität nennt man seitdem **Berührungselektricität** oder auch **galvanische Elektricität,** da Volta durch einen Versuch *Galvanis* zu seinen Untersuchungen angeregt worden war.

Fig. 474 stellt eine zur Erzeugung galv. E. geeignete Vorrichtung dar, ein sogen. **galvanisches Element.** Die beiden Metalle, Zink (Z) und Kupfer (K), sind in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht und durch einen Leitungsdraht (M) verbunden. Kräftigere Wirkungen erzielt man durch eine **galvanische Batterie** oder **galvanische Kette,** d. h. eine Zusammenstellung von Elementen derart, dafs immer die Zinkplatte des einen mit der Kupferplatte des nächsten verbunden ist (Fig. 475). Die beiden

Fig. 474.

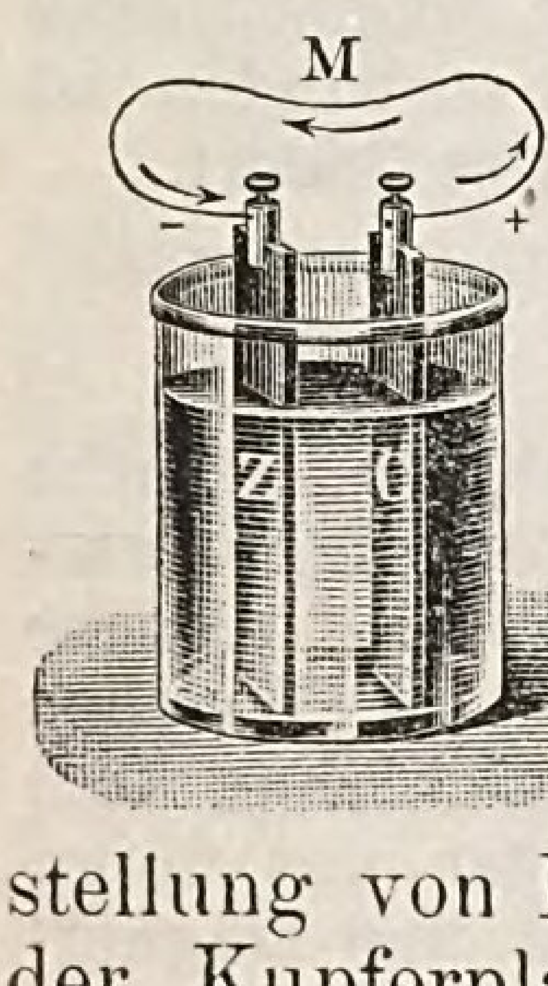
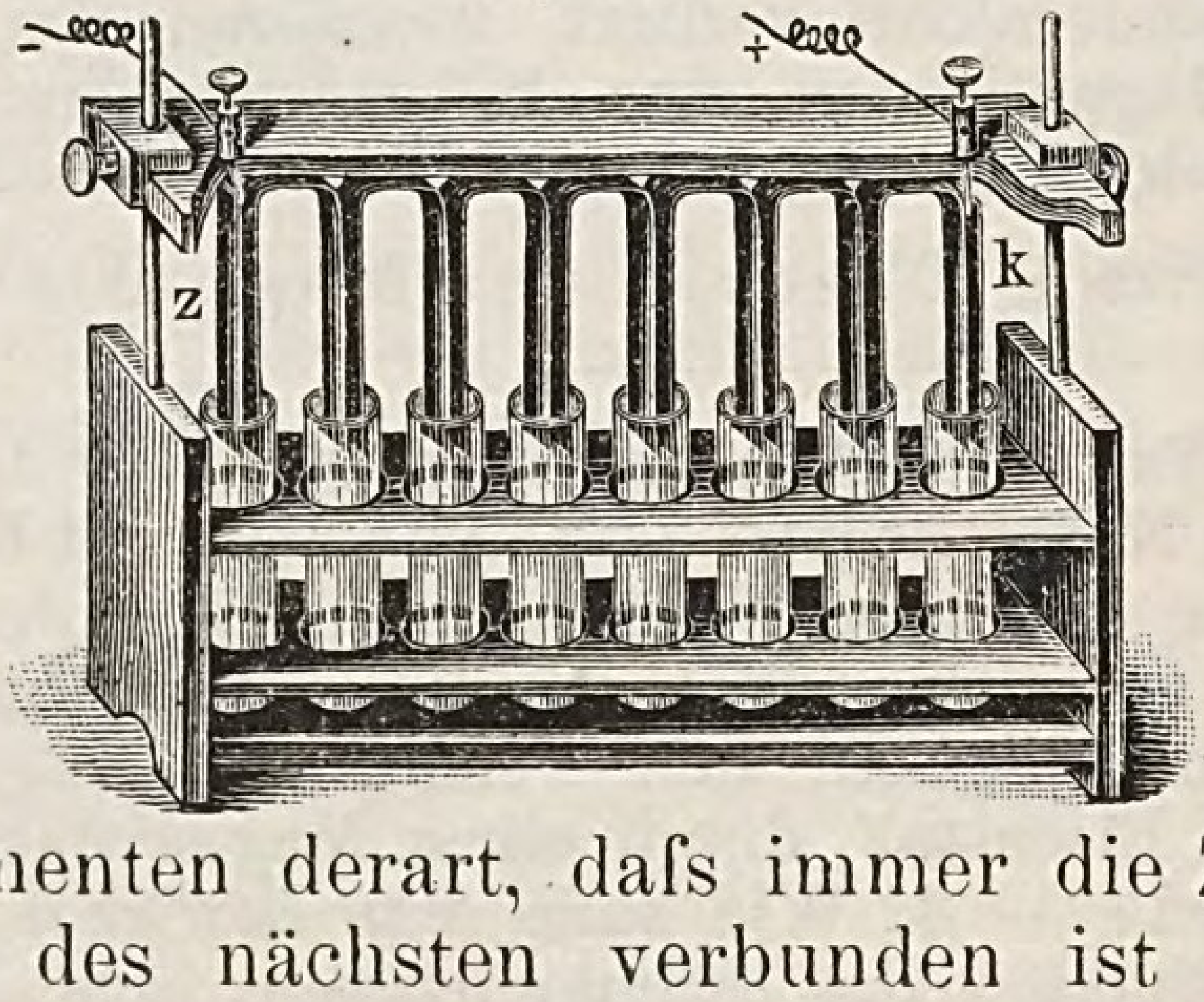


Fig. 475.



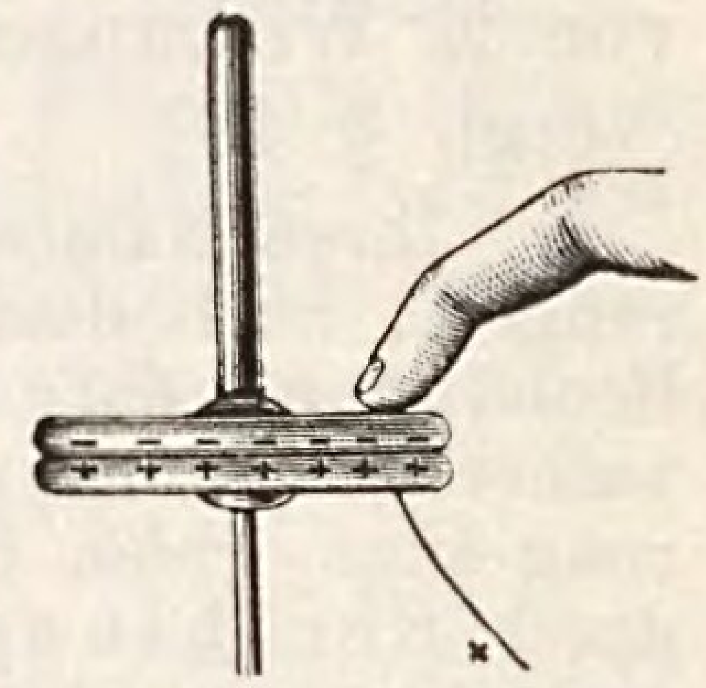
freistehenden Endplatten heifsen die **Pole** der Batterie. Werden dieselben durch einen Leitungsdraht (Schliefsungsbogen) verbunden, so heifst die Batterie geschlossen (im anderen Falle offen).

Statt der Kupferplatten verwendet man auch harte Kohle (sogen. Gaskohle) und als Erregungsflüssigkeit Chromsäure.

Nachweis der Berührungs-Elektricität.

Versuch a. Ist einer der beiden Enddrähte einer galv. Batterie mit der Erde leitend verbunden, so läfst sich mit Hülfe eines Voltaschen Kondensators durch den anderen Draht ein *Ausschlag der Blättchen* eines Elektroskopes bewirken, indem man nach Fig. 476 verfährt und, nachdem man die Kondensatorplatten einen Augenblick berührt hat, die obere abhebt.

Fig. 476.



Die Elektricität der Blättchen erweist sich als positiv, wenn dieselben mit dem von der Kupfer- oder Kohlenplatte herkommenden Drahte verbunden werden, während der mit dem Zinkpol verbundene Draht negative E. liefert. Legt man beide Drähte gleichzeitig an die Kondensatorplatten, so nehmen diese ebenfalls eine el. Ladung an, wie sich auch durch ihre Einwirkung auf ein el. Pendel nachweisen läfst.

Versuch b. Hält man den Schliefsungsdraht nahe über oder unter eine Magnetnadel in einer der Nadel parallelen Richtung, so beobachtet man eine *Ablenkung der Nadel.*

Versuch c. Schaltet man zwischen den beiden Polen der Batterie einen umsponnenen und schraubenförmig gewundenen Kupferdraht ein, in dessen Windungen ein Eisenstäbchen liegt, so nimmt letzteres *magnetische Eigenschaften* an (vergl. Fig. 173).

Zur Hervorrufung dieser magnetischen Erscheinungen genügt ein einzelnes Plattenpaar.

Versuch d. Wird an jedem der beiden Polen ein zugespitztes Stückchen Coaks oder harter Gaskohle befestigt, so ist bei Berührung der Kohlenspitzen ein kleiner, *hell leuchtender Funke* wahrnehmbar. Die Kohlenstäbchen selbst werden heifs.

Versuch e. Taucht man die beiden Drahtenden, ohne dafs sie sich berühren, in Gläschen mit verdünnter Schwefelsäure, so sieht man nach einiger Zeit an dem einen Drahte eine *Entwickelung von Gasbläschen,* während der andere Draht eine hellere Färbung annimmt und sich an seiner Oberfläche verändert. Der Versuch läfst erkennen, dafs die Elektricität in der Säure eine *chemische Zersetzung* hervorbringt.

Diese Wirkung, sowie die *Licht-* und *Wärmewirkung* beim vorhergehenden Versuche ist indes nur dann kräftig und leicht erkennbar, wenn die Batterie eine genügende Anzahl von Plattenpaaren vereinigt.

Eine Vergleichung der Wirkungen der Berührungselektricität mit denen der Reibungselektricität zeigt bemerkenswerte Verschiedenheiten beider. Anziehung und Abstofsung leichter Körper ist durch die letztere sehr leicht hervorzurufen; um dagegen mittelst galvanischer E. eine bemerkbare, wenn auch nur ganz schwache Anziehung oder Abstofsung

hervorzubringen, ist ein Kondensator zu Hilfe zu nehmen. Während die Wirkung verhältnismäfsig schwacher Entladungen von Reibungs-E. auf den menschlichen Körper recht empfindlich sein kann, bedarf es gröfserer Mengen von galv. E. oder besonderer Bedingungen ihrer Einwirkung, ehe sich dieselbe durch eine Nervenreizung äufsert (physiologische Wirkung). Auch das Überspringen eines Funkens an der Unterbrechungsstelle erfolgt leichter und auf gröfsere Entfernung durch Reibungs-E., dagegen sind die magnetischen und chemischen Wirkungen der Berührungs-E. weit kräftiger als die der Reibungs-E.

Trotz dieser und noch anderer Verschiedenheiten zeigen beide Arten von E. Wirkungen, die in den wesentlichen Bedingungen übereinstimmen (vergl. § 48).

Ihren Namen galvanische Elektricität (Galvanismus) hat die Berührungs-E. nach dem italienischen Arzte *Galvani* erhalten. Dieser machte 1789 die Beobachtung, dafs der an einem kupfernen Haken aufgehängte Schenkel eines kurz vorher getöteten Frosches zuckte, wenn er mit einem eisernen Geländer in Berührung kam. *Volta,* Professor in Pavia, fand den Grund dieser Erscheinung darin, dafs durch Berührung der Metalle E. erregt werde. Die von ihm (1800) zur Hervorbringung starker el. Wirkungen erfundene Vorrichtung bestand aus zahlreichen, aufeinander geschichteten Doppelplatten von Kupfer und Zink, welche durch angefeuchtete Tuchläppchen voneinander getrennt waren: Voltasche Säule.

Eine aus galv. Elementen zusammengesetzte Batterie von Zink- und Kupferplatten in verdünnter Schwefelsäure wird Voltasche Batterie genannt (Fig. 475).

Bem. In den folgenden Paragraphen ist nur auf die zwischen Flüssigkeiten und festen Leitern stattfindende E s-Erregung Rücksicht genommen.

Übungsstoff. 1. Warum mufs die isolierende Schicht des Kondensators, wenn man mit demselben die Berührungs-E. nachweisen will, bedeutend dünner sein, als es für Reibungs-E. erforderlich wäre? — 2. Mit welchen Teilen der Elektrisiermaschine lassen sich die Pole einer galv. Batterie vergleichen? — 3. Was hat bei beiden a. die Einschaltung eines guten Leiters, b. die leitende Verbindung mit der Erde zur Folge? — 4. Angenommen, bei Versuch a dieses Paragraphen hätte man nicht die untere, sondern die obere Platte des Kondensators mit einem Poldrahte der Batterie verbunden und die untere Platte ableitend berührt: welchen Einflufs würde dies auf das Ergebnis des Versuches ausüben? (Zeichnung!) — 5. Durch die Kraft einer abgeschossenen Kugel läfst sich eine offene Thür nicht schliefsen, wohl aber durch einen leichten, andauernden Druck mit dem Finger. Inwiefern läfst sich dies mit dem Durchschlagen von Glas (Fig. 175) und der Ablenkung der Magnetnadel durch E. vergleichen? — 6. Man kann die Wirkung der Reibungs-E. mit dem Sturz eines Wasserfalles, die der Berührungs-E. dagegen mit der Strömung eines ruhig fliefsenden Gewässers vergleichen. Inwiefern?

§ 135. Elektrischer Zustand. Elektromotorische Kraft. Galvanischer Strom. Über die Elektricitätserregung, welche bei der Berührung von Metallen und Flüssigkeiten stattfindet, sind unter Anwendung sehr empfindlicher Elektrometer äufserst sorgfältige Untersuchungen angestellt worden. Dieselben haben folgendes ergeben:

a. Wird ein Kupfer- oder ein Zinkstreifen in verdünnte Schwefelsäure getaucht, so läfst sich an dem freien Teile des Metalles —E., in der Flüssigkeit +E. von gleicher Spannung nachweisen; bei der Einwirkung der Säure auf Zink ist jedoch die Spannung 10 mal so grofs als bei der Einwirkung auf Kupfer.

b. Taucht man beide Metalle, ohne dafs sie sich berühren, zugleich in die Flüssigkeit (Fig. 477), so ist nur noch das Zink —el, während das Kupfer die + E. der Flüssigkeit angenommen hat; die Spannungen sind einander gleich, aber um soviel schwächer, als vorher die Spannung der E. des Kupfers allein betrug. Dies erklärt sich dadurch, dafs die an den Berührungsflächen erregten Elektricitäten durch die elektricitätserregende Kraft nach entgegengesetzten Richtungen getrieben werden, also vom —el. Kupfer aus die schwache + E. nach dem Zink, vom —el. Zink aus die 10 mal so starke + E. der Flüssigkeit nach dem Kupfer. Infolgedessen gleichen sich in beiden Metallen gleiche Mengen entgegengesetzter Elektricitäten aus und die Spannung nimmt um ebensoviel ab, als die Spannung der schwächeren E. allein betragen haben würde. Es ist also geradeso, als ob nur durch die Einwirkung der Säure auf das am leichtesten auflösbare Metall (Zink) E. erregt würde und das Kupfer lediglich dazu diente, die + E. der Säure weiter zu leiten. Ähnliches gilt auch von allen anderen galv. Elementen.

Fig. 477.

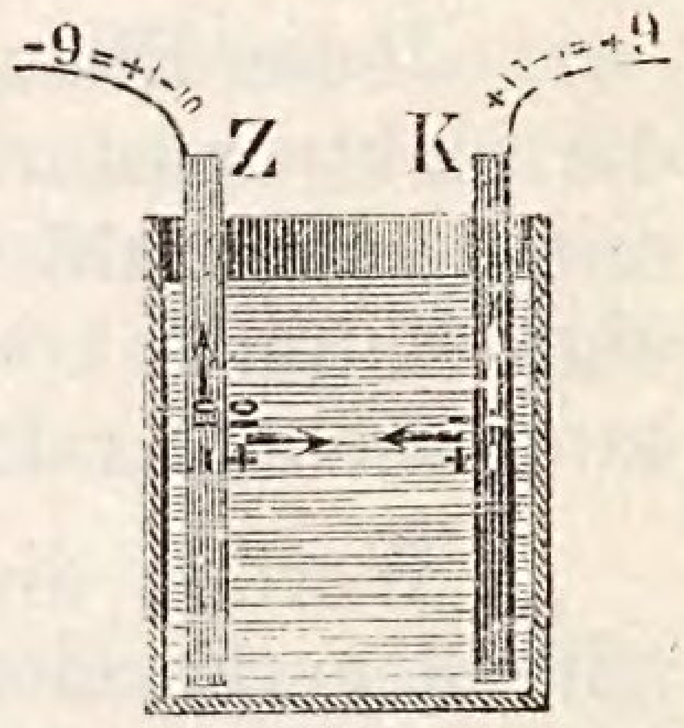
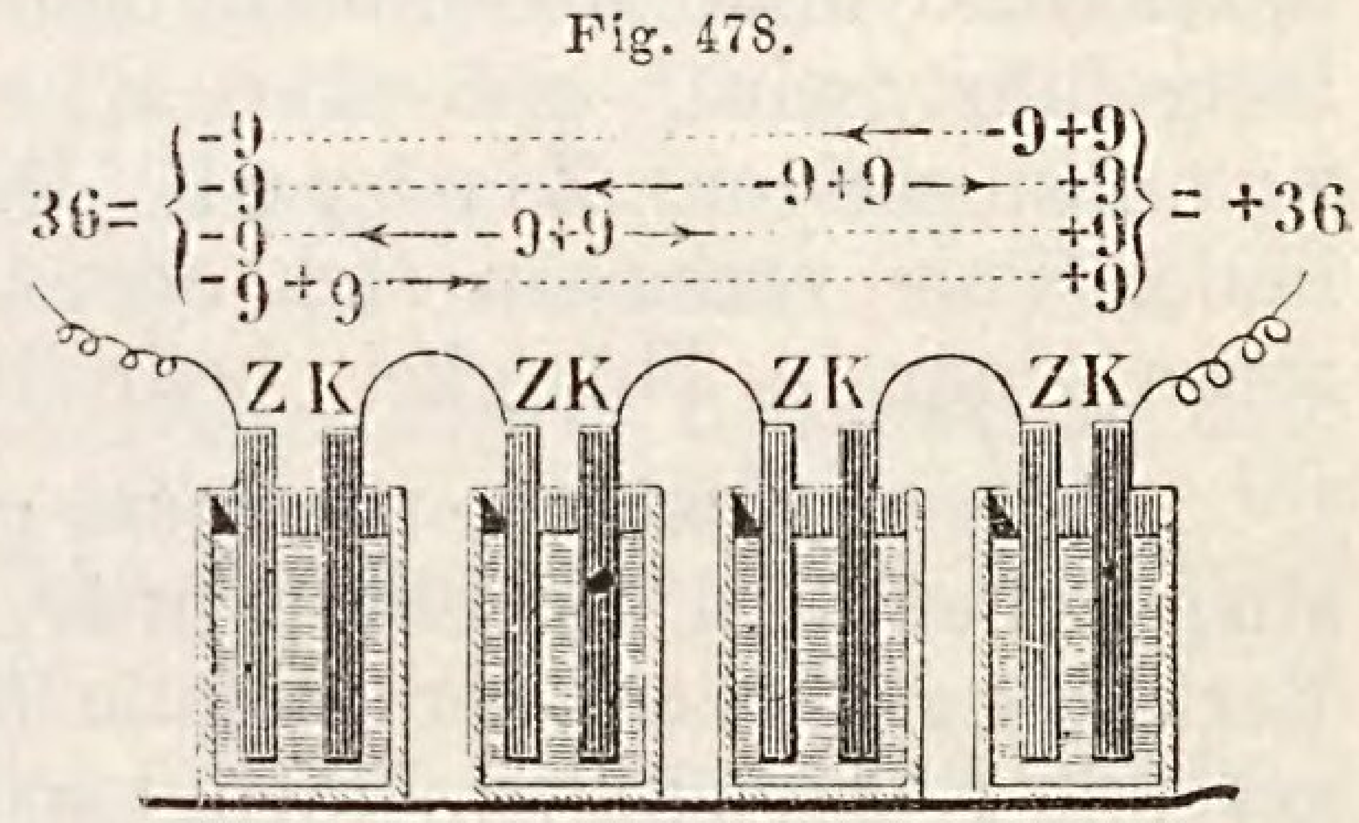


Fig. 478.



Werden mehrere galv. Elemente so zu einer Batterie zusammengesetzt, dafs die ungleichnamigen Metalle je zweier benachbarten Elemente leitend verbunden sind (Fig. 475 und 478), so ist die el. Spannung sovielmal so grofs als die eines einzelnen Elementes, als die Zahl der Elemente beträgt (von Widerständen [§ 137] abgesehen).

Die Spannung der galvanischen E. hängt von der Natur der E.s-Erreger ab und wächst mit der Zahl der ungleichnamig verbundenen Elemente; sie ist aber unabhängig von der Gröfse der Erregungsflächen.

Durch verdünnte Schwefelsäure als Erregungsflüssigkeit werden auch andere darin auflösbare Leiter im allgemeinen ebenso wie Zink —el., aber um so schwächer, je weniger sie von der Säure aufgelöst werden. Nach der Stärke der durch sie bewirkten el. Spannung hat man sie in folgende Reihe *(Spannungsreihe)* geordnet: *Zink, Eisen, Zinn, Blei, Aluminium, Nickel, Antimon, Wismut, Kupfer, Silber, Platin.* In dieser Reihe wird Zink durch die Säure am stärksten, Platin am schwächsten el., die übrigen Glieder um so schwächer, je weiter sie vom Zink abstehen. Sind Metalle dieser Reihe in verdünnter Schwefelsäure zu einem galv. Element vereinigt, so wird nur das am leichtesten oxydierbare Metall (neg. Pol) aufgelöst, während das andere Metall (pos. Pol), da es die E. der Flüssigkeit annimmt, vor der Auflösung geschützt ist. (Die Zerstörung von Zinkblech wird in feuchter Luft durch die Berührung mit Eisen befördert. Eisen und Stahlwaren lassen sich durch Beimischung von Zink gegen das Rosten schützen.)

In den elektrischen Zuständen der Platten eines Elementes oder einer Batterie besteht demnach eine gewisse Spannung oder ein Unterschied, welcher von der Art der verwendeten Metalle und von der Erregungsflüssigkeit abhängig ist.

Man nennt diesen Unterschied der el. Zustände die **elektromotorische** (d. h. „Elektricität bewegende") **Kraft** des Elementes.

Jedes Element hat demnach eine bestimmte elektromotorische Kraft; die elektromotorische Kraft einer Batterie wächst in geradem Verhältnis mit der Anzahl der Elemente, welche man zur Batterie zusammenstellt; eine Batterie von 3 Elementen z. B. hat eine 3mal so grofse elektromotorische Kraft wie ein einzelnes Element derselben Art.

Werden die Pole eines galv. Elementes oder einer galv. Batterie leitend verbunden (Fig. 474), so fliefst die Elektricität durch den Schliefsungsdraht von dem einen Pol zum anderen und es entsteht ein **el. (galvanischer) Strom.** Die Einwirkung auf eine Magnetnadel, die in jedem Punkte des Schliefsungsbogens stattfindet, beweist z. B., dafs durch denselben ein el. Strom fliefst. Als Richtung des Stromes bezeichnet man übereinstimmend diejenige, in der die positive E. fortgeführt wird, also die Richtung vom (positiven) Kupferpol zum (negativen) Zinkpol. Die durch den Schliefsungsbogen verbundenen Pole verhalten sich ebenso wie die leitend verbundenen Konduktoren einer in Thätigkeit befindlichen Elektrisiermaschine.

Die el. Zustände in einem geschlossenen Element würden sich sofort ausgleichen und dasselbe würde unelektrisch werden, wenn nicht an den Berührungsflächen der Metalle mit der Flüssigkeit aufs neue entgegengesetzte Elektricitäten erzeugt würden, die sich wieder ausgleichen u. s. f. Demnach müssen wir in dem an der Oberfläche des Zinks stattfindenden (chemischen) Vorgang die eigentliche Quelle der el. Erregung suchen.

Bem. Die Theorie *Voltas,* dafs durch blofse Berührung zweier Metalle E. entstehen könne **(Kontakttheorie),** ist dementsprechend geändert worden in dem Sinne, dafs man die chemischen Vorgänge als Ursache der Berührungs-E. ansieht **(elektrochemische Theorie).** Die elektromotorische Kraft ist mithin auf chemische Prozesse zurückzuführen.

Übungsstoff. 1. Wie ist es zu erklären, dafs die el. Spannung an den Polen eines Voltaschen Elementes kleiner ist als die Spannung, welche man erhält, wenn eine Zinkplatte in verdünnte Schwefelsäure getaucht wird? — 2. Welche Spannung ergiebt sich (durch Rechnung nach obiger Anleitung), wenn man eine aus 8 Volt. Elementen bestehende Batterie anwendet? — 3. Warum erhält man durch Eintauchen zweier Platten von gleichem Metalle keine el. Wirkung? — 4. In Fig. 477 und 478 sei a. Zink durch Eisen, b. Kupfer durch Platin ersetzt. Einflufs auf die el. Spannung? — 5. Wenn W. mittelst einer Pumpe gehoben und in einem Behälter angesammelt wird, so übt es zunächst auf die Wandung einen Druck aus; beim Abfliefsen aus einer nahe am Boden des Behälters befindlichen Öffnung vermag es gewisse Widerstände zu überwinden. Damit andauernd die gleichen Widerstände überwunden werden können, mufs das W. im Behälter durch fortgesetztes Pumpen in derselben Höhe gehalten werden. Dies läfst einen Vergleich zu mit den Vorgängen im galv. Elemente. Was entspricht a. der zum Heben des W. dienenden Kraft, b. dem Drucke des W., c. dem Abfliefsen des W., d. der Arbeitsleistung? e. Was ist zu einer andauernden gleichen Arbeitsleistung erforderlich? — 6. Die Gröfse des Druckes, welchen die ruhende Flgk. bei derselben Höhe auf gleiche Teile der Bodenfläche ausübt, hängt von der Natur der Flgk. ab (inwiefern?); bei derselben Flgk. läfst sich der Druck dadurch vergröfsern, dafs man den Behälter höher mit der Flgk. füllt und zu diesem Zwecke mehrere Pumpen zugleich anwendet. Je gröfser der Druck ist, desto stärker fliefst das W. aus. Benutze diese Angaben wiederum zu einem Vergleiche!

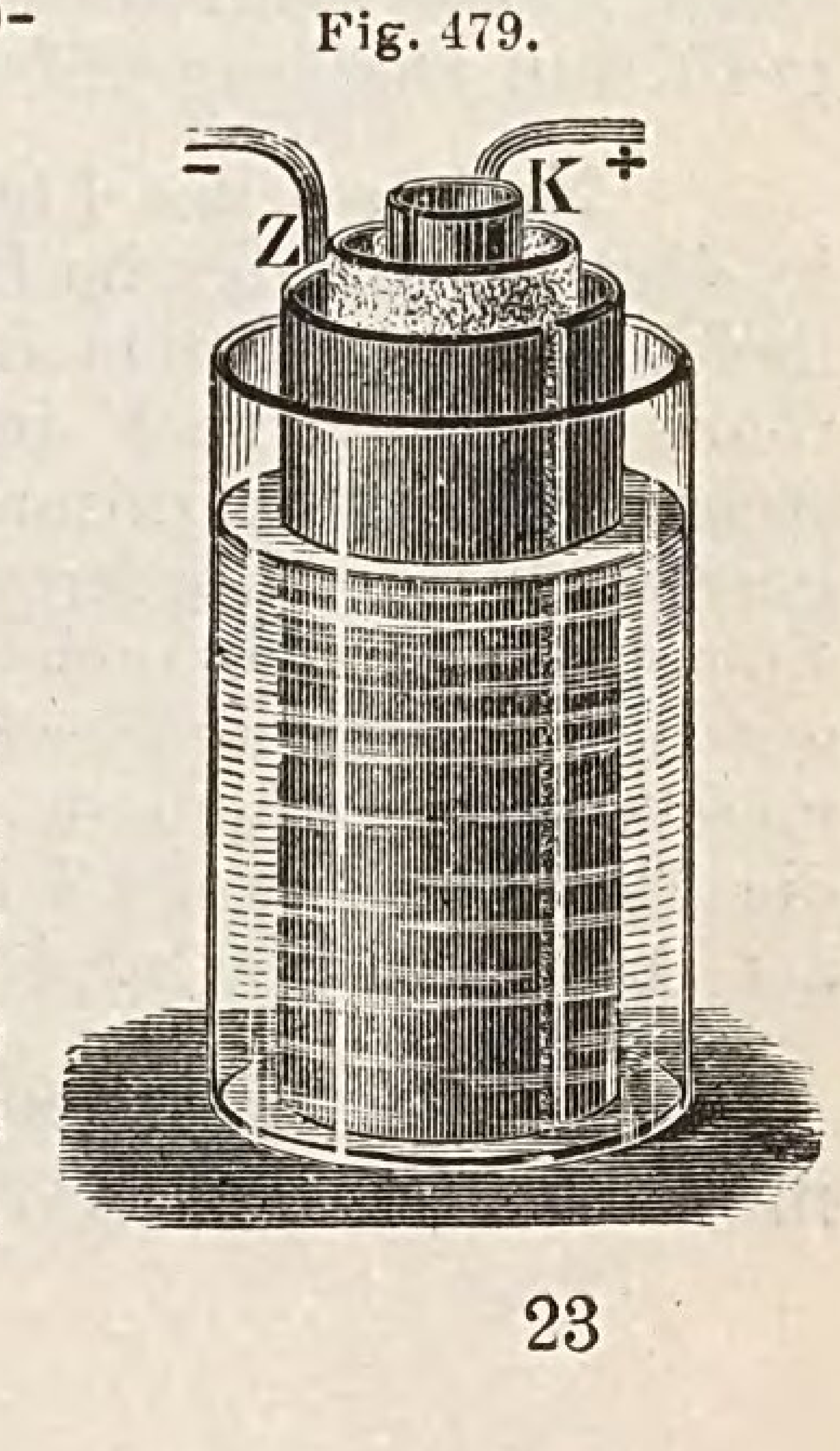
§ 136. Konstante Elemente. Galvanoskop und Galvanometer. Für den praktischen Gebrauch galvanischer Elemente ist es wichtig, daſs die erzeugten Ströme die nötige Stärke haben und andauernd wirken. Die letztere Eigenschaft haben die Ströme Voltascher Elemente nicht, wie sich durch einen Versuch leicht nachweisen läſst. (Schaltet man in den Schlieſsungsbogen eines solchen Elementes ein Galvanoskop (siehe Fig. 483) ein, so erhält man zwar zunächst einen kräftigen Ausschlag, der jedoch schon nach kurzer Zeit bedeutend an Gröſse abnimmt.)

Die schnelle Abnahme der Stromstärke Voltascher Elemente erklärt sich durch die chemischen Vorgänge, welche im Element stattfinden. Das Wesentliche hierbei ist, daſs sich das Zink in der Schwefelsäure auflöst, wobei sich Wasserstoff in Form kleiner Bläschen ausscheidet, welche sich auf der Kupfer- oder Kohlenplatte ablagern. Die Wasserstoffschicht wirkt nicht nur als schlechter E.s-Leiter hemmend auf die el. Bewegung ein, sondern entwickelt auch eine elektromotorische Kraft, die der Kraft des Elementes entgegenwirkt, also den Strom schwächt. Man nennt diesen Vorgang **Polarisation** (vergl. § 139)

An die Stelle des Wasserstoffs der Schwefelsäure (H_2SO_4) tritt Zink. Dadurch entsteht schwefelsaures Zink (Zinkvitriol), das sich in der Flüssigkeit auflöst. Der Wasserstoff dagegen wird frei. Dieser chemische Vorgang wird durch die Formel ausgedrückt: $H_2SO_4 + Zn = ZnSO_4 + H_2$.

Die schädliche Wirkung des im galv. Elemente frei werdenden Wasserstoffs wird dadurch aufgehoben, daſs man ihn wieder in eine chemische Verbindung überführt. Hierzu eignen sich besonders sauerstoffreiche *Säuren* (in den Elementen b und c) und leicht zersetzbare *Metalloxyde* (e), welche sehr leicht Sauerstoff abgeben, der sich dann mit dem Wasserstoff zu Wasser verbindet; ferner *Metallsalze* (a und d), aus denen das Metall durch den frei gewordenen Wasserstoff, der an die Stelle des Metalles tritt, leicht ververdrängt wird. Da jedes Metall durch Berührung mit einer Flüssigkeit elektrisch wird, so kann man die Metalle auch in zwei verschiedene Flüssigkeiten eintauchen, welche in leitender Berührung sind. Elemente dieser Art heiſsen **konstante,** weil sie längere Zeit einen Strom von nahezu gleicher Stärke liefern. Ihre elektromotorische Kraft ist von der Art der Metalle und der der Flüssigkeiten abhängig.

Fig. 479.



Die wichtigsten **konstanten Elemente** sind:

a. Das **Daniellsche Element** (Fig. 479). Die beiden Metalle sind Zink und Kupfer; ersteres steht in verdünnter Schwefelsäure, letzteres in einer konzentrierten Lösung von Kupfervitriol. Beide Flüssigkeiten sind durch einen Becher aus leicht gebranntem Thon voneinander getrennt, sodaſs sie sich durch die poröse Scheidewand gegenseitig berühren können, ohne sich jedoch zu mischen. Aus der Kupfervitriollösung scheidet sich metallisches Kupfer aus, das sich auf der Kupferplatte niederschlägt.

Der aus der Schwefelsäure frei gewordene Wasserstoff tritt an die Stelle des Kupfers der Kupfervitriollösung, sodafs Schwefelsäure und metallisches Kupfer entsteht ($CuSO_4 + H_2 = H_2SO_4 + Cu$).

b. Das **Grovesche Element** besteht aus einer Zink- und einer Platinplatte, von denen erstere in verdünnter Schwefelsäure, letztere in konzentrierter Salpetersäure (wie beim vorigen Element von einer Thonzelle eingeschlossen) steht. (Elektrom. Kraft ungefähr = 1,7 Daniell.)

Die Salpetersäure (HNO_3) giebt leicht einen Teil ihres Sauerstoffes ab; dieser verbindet sich mit dem frei gewordenen Wasserstoffe der Schwefelsäure zu Wasser. Hierbei verwandelt sich die Salpetersäure nach und nach in salpetrige Säure, welche in (gesundheitsschädlichen) roten Dämpfen entweicht.

c. Das **Bunsensche Element.** Die ursprüngliche Einrichtung desselben unterscheidet sich von der des Groveschen Elementes nur dadurch, dafs statt des Platins die sehr harte Gaskohle angewandt wird. (Elektrom. Kraft ungefähr = 1,7 Daniell.)

Fig. 480.

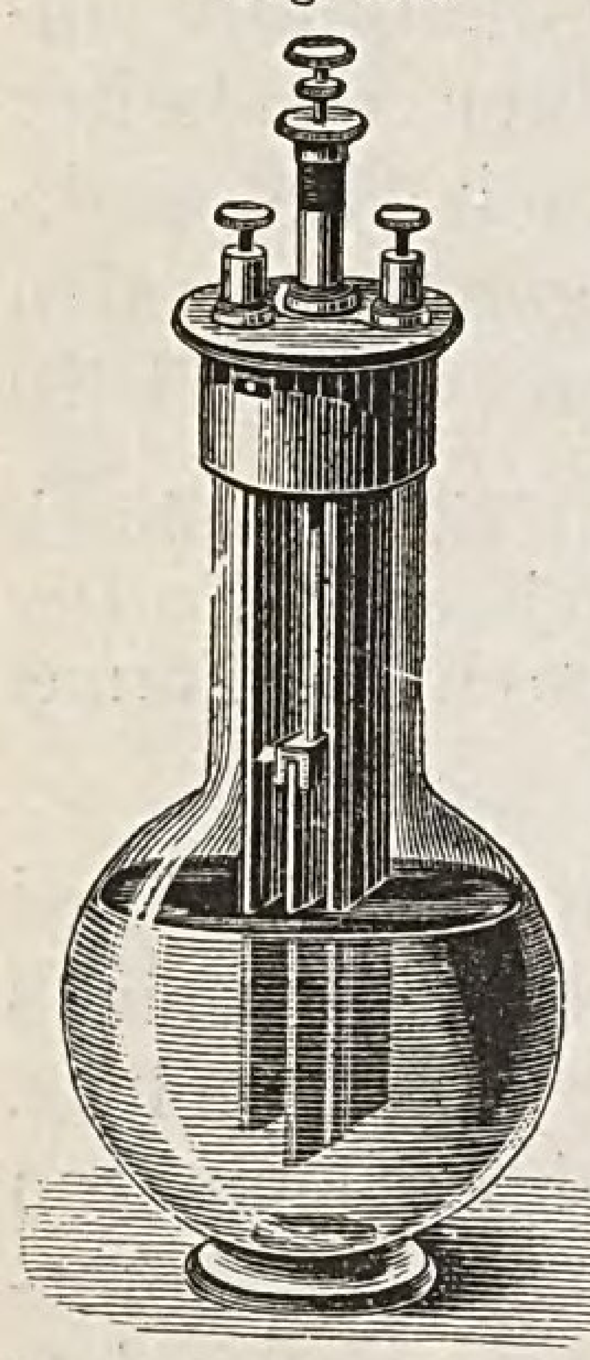
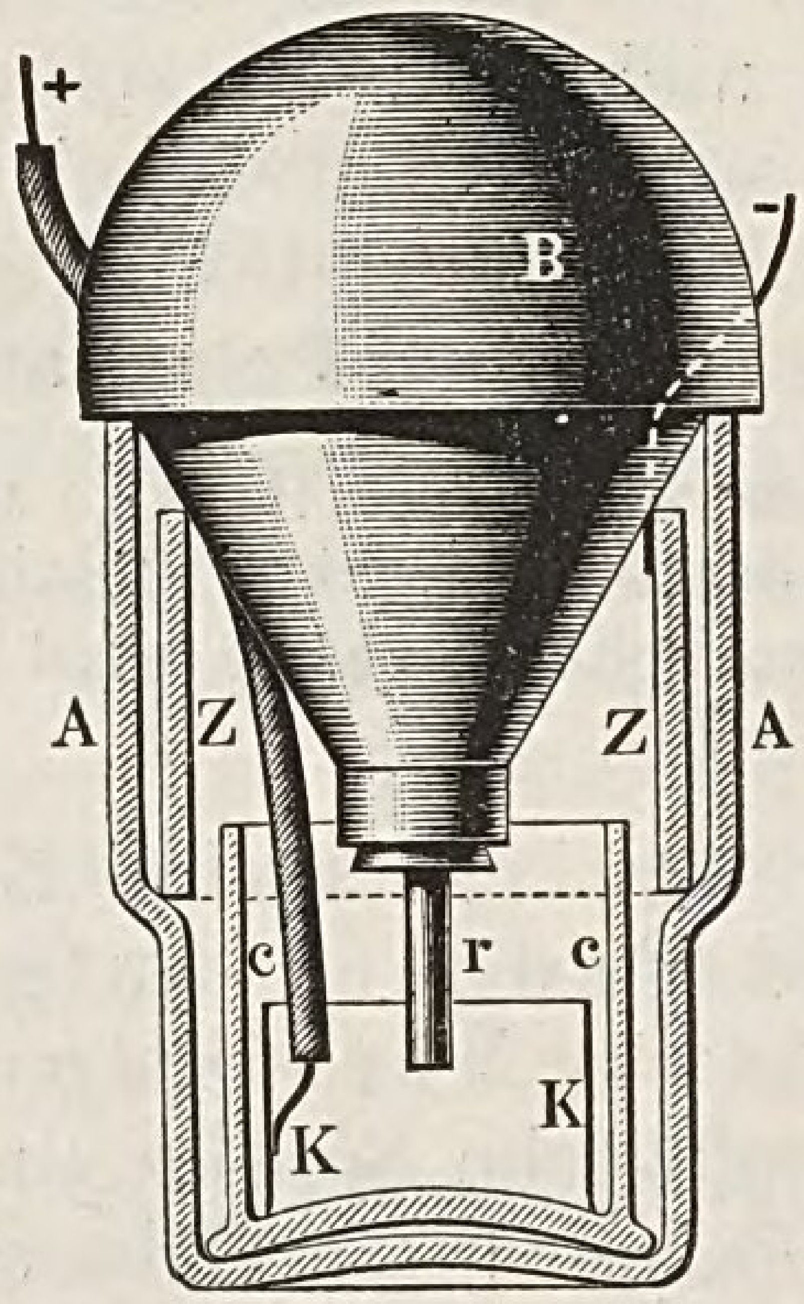


Fig. 481.



Bei der verbesserten Einrichtung (sogen. Flaschenelement, Fig. 480) wird die Salpetersäure durch eine Lösung von doppeltchromsaurem Kali in verdünnter Schwefelsäure ersetzt, oder eine solche Lösung allein (ohne Thonzelle) angewandt: **Chromsäure-Elemente.** Chromsäure giebt ähnlich wie Salpetersäure (aber ohne Bildung schädlicher Dämpfe) leicht Sauerstoff ab und macht dadurch den Wasserstoff unschädlich. Die Stromstärke ist nicht so andauernd wie bei Anwendung von Salpetersäure.

d. Das **Meidingersche Element** (Fig. 481) enthält wie das Daniellsche Element eine Zink- und eine Kupferplatte. Das Zink (Zn) befindet sich in einer Bittersalzlösung und das Kupfer (K) in einer Lösung von Kupfervitriol. Letztere ist in einem kleinen, am Boden des grofsen Gefäfses (A) stehenden Glase (c) enthalten, in welches der Hals eines umgekehrten, mit Kupfervitriolkrystallen und Bittersalzlösung gefüllten Deckelgefäfses (B) hineinragt. (Elektrom. Kraft etwa = 1 Daniell.)

Nachdem das Element gefüllt ist, fangen die Kupfervitriolkrystalle an, sich in dem Wasser der im Deckelgefäfse enthaltenen Bittersalzlösung aufzulösen. Hierbei fliefst die entstehende Lösung wegen ihres höheren spec. Gewichtes durch die Glasröhre nach und nach in das am Boden stehende Gefäfs (c) und verdrängt die aufsteigende Bittersalzlösung aus dem Glase. Hat sich dieser Vorgang solange fortgesetzt, bis der Kupfercylinder beinahe ganz in Kupfervitriollösung steht, so ist das Element zum Gebrauche geeignet. Wird durch den el. Strom des Elementes Kupfer aus der Lösung ausgeschieden, so setzt sich jener Austausch dadurch fort, dafs die ungesättigte Lösung in der specifisch schwereren aufsteigt. Auf diese Weise behält die Flüssigkeit lange Zeit nahezu die gleiche Beschaffenheit. Damit sich nicht auch am Drahte Kupfer niederschlagen kann, ist derselbe mit Guttapercha überzogen.

e. Das **Element von Leclanché** enthält wie das Bunsensche Element Zink und Kohle; ersteres steht in einer konzentrierten Lösung

von Salmiak, letztere in einem groben Pulver aus Braunstein und Coaks. (Elektrom. Kraft ungefähr = 1,4 Daniell.)

Man füllt das Gefäfs etwa zu $\frac{1}{4}$ mit Braunsteinstückchen und bis nahe zum Rande mit Salmiaklösung. In letztere wird das Zink, in erstere die Kohle gestellt.

Braunstein oder Manganüberoxyd (MnO_2) giebt wie Salpetersäure und Chromsäure leicht Sauerstoff ab, welcher sich mit dem aus Salmiak (NH_4Cl) frei gewordenen Wasserstoffe zu Wasser verbindet. Von dem sich ebenfalls ausscheidenden Ammoniak und Chlor verbindet sich letzteres mit dem Zink zu Chlorzink.

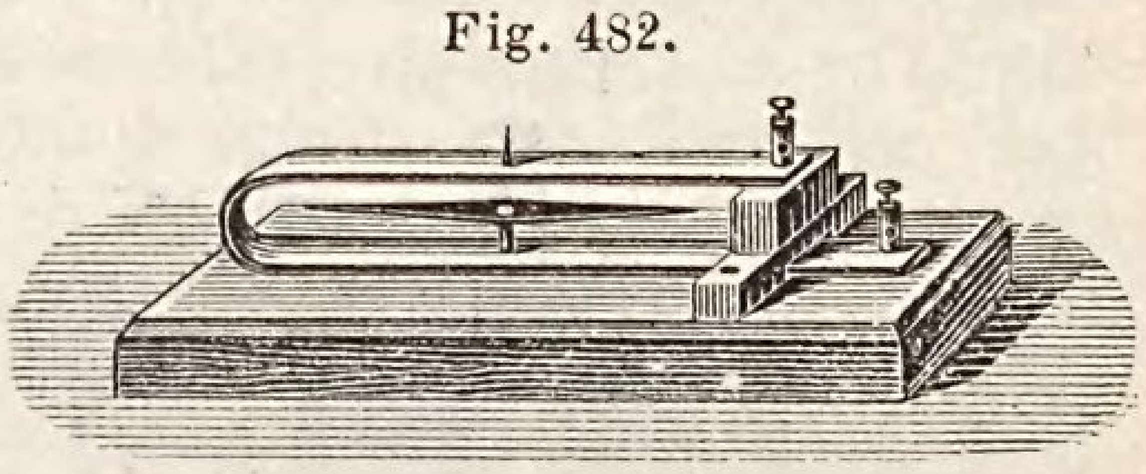
Bem. Bei allen Elementen wird die Zinkplatte vor dem Gebrauche amalgamiert. Alle Verbindungen der Stromleitungen müssen metallisch rein und durch Klemmschrauben gut befestigt sein.

Die Elemente von Grove und Bunsen liefern einen sehr starken Strom, welcher jedoch nur einige Stunden andauernd konstant ist. Weniger stark, aber länger (tagelang) konstant ist der Strom des Daniellschen Elementes (zur Galvanoplastik vielfach benutzt, § 139). Bei den Elementen von Meidinger und Leclanché, namentlich bei ersterem, ist der Strom noch schwächer, aber monatelang konstant (daher zur Telegraphie, sowie zum Betrieb el. Klingeln geeignet, § 142). In neuester Zeit werden zu derartigen Zwecken auch häufig die sogen. **Trockenelemente** angewandt. Sie enthalten keine Flüssigkeit, sondern eine eingedickte Masse und sind deshalb für den Gebrauch besonders bequem.

Galvanoskop und Galvanometer. Zum Nachweis galv. Ströme läfst sich am zweckmäfsigsten die Magnetnadel verwenden. (Versuch b, § 134). *Instrumente, welche diesem Zwecke dienen, werden* **Galvanoskope** *genannt; wenn mittelst derselben die Stärke der Ströme gemessen werden kann, so heifsen sie* **Galvanometer.**

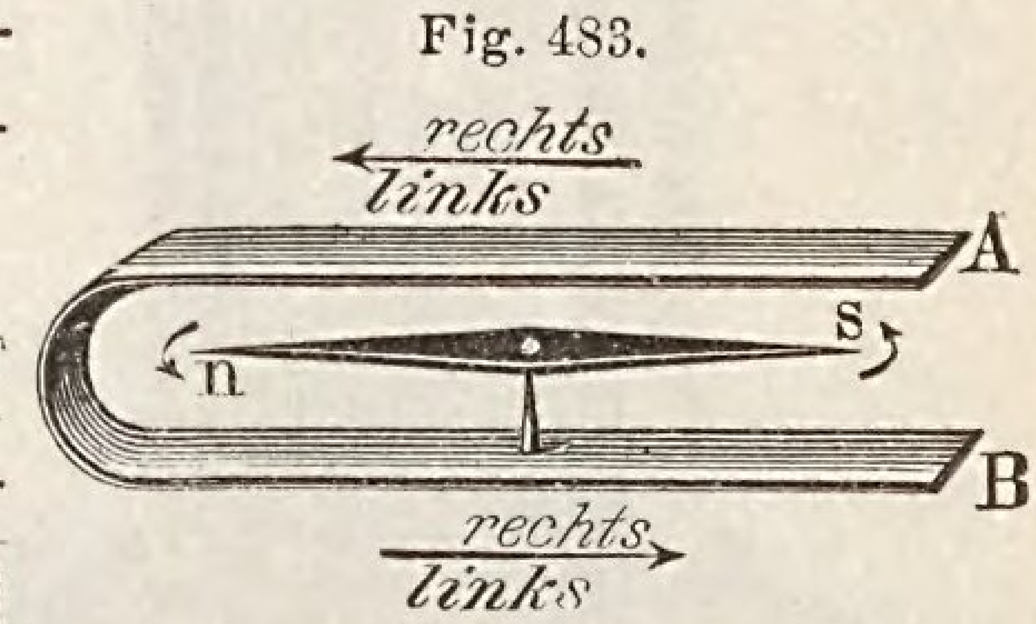
Fig. 481 stellt ein einfaches *Galvanoskop* dar, das aus einem kleinen Kupferbügel und einer Deklinationsnadel besteht, die sich innerhalb des Bügels oder über demselben auf einer senkrechten Spitze frei bewegen kann.

Fig. 482.



Die Ablenkung der Nadel läfst zugleich die Richtung des Stromes erkennen und zwar nach einer sehr einfachen Gedächtnisregel:

Fig. 483.



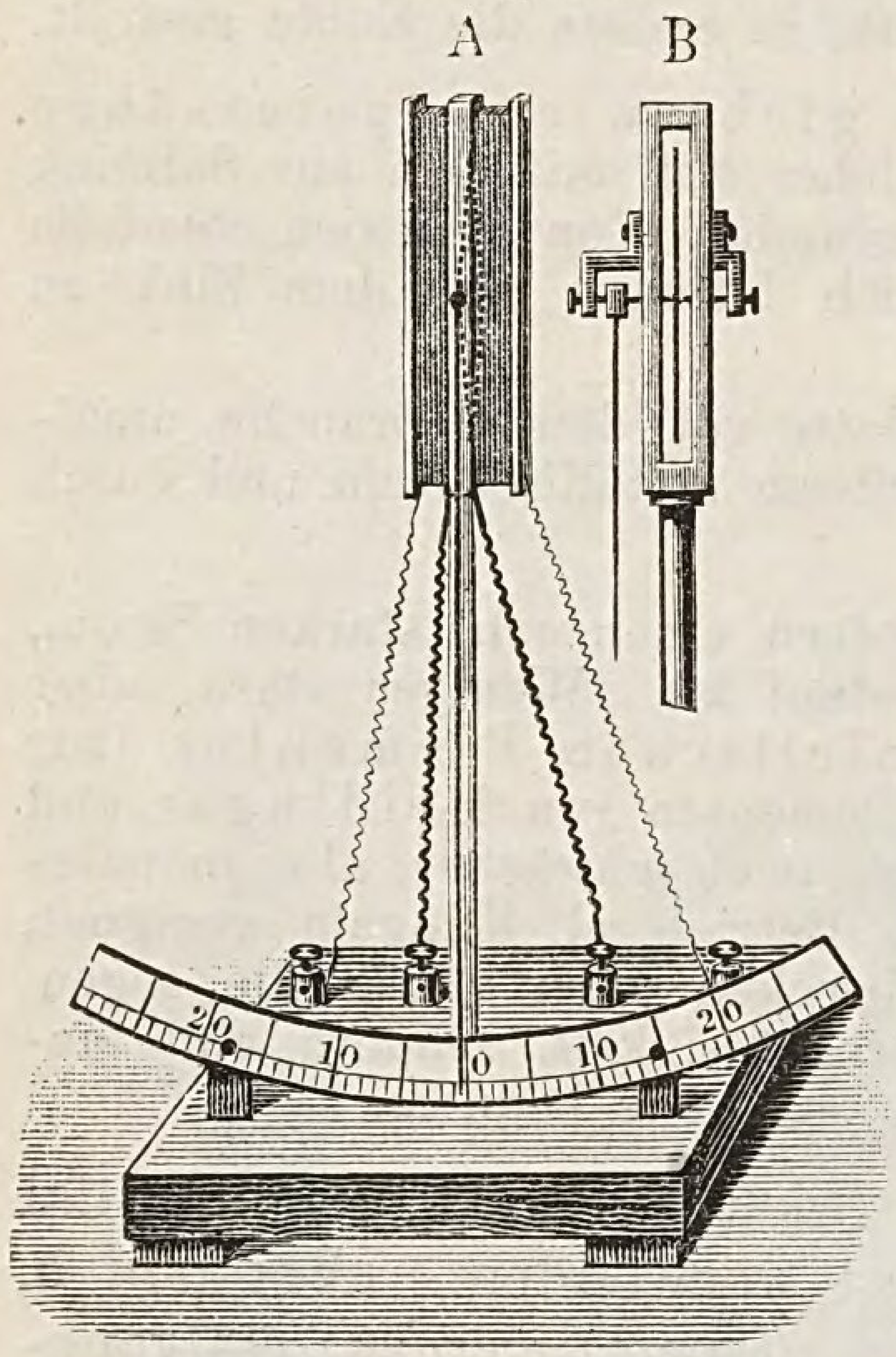
Denkt man sich eine menschliche Figur in den Strom eingeschaltet, welche mit demselben schwimmt und das Gesicht der Nadel zuwendet, so schlägt der Nordpol der Nadel stets nach links aus: **Ampèresche Schwimmerregel** (vergl. Fig. 483)

Die Ablenkung der Magnetnadel durch den galv. Strom wurde 1820 von *Oersted n Kopenhagen* entdeckt und unmittelbar nachher von *Ampère in Paris* genauer erforscht.

Bei dem in Fig. 484 (folg. Seite) dargestellten *Galvanoskop* kann sich eine Inklinationsnadel in den Windungen zweier umsponnener Kupferdrähte von verschiedener Dicke frei drehen. (Der dünnere Draht umgiebt die Nadel in wenigstens 200 Windungen und ist für Induktionsströme (§ 141) bestimmt.) Damit die Ausschläge der Nadel deutlich wahrgenommen und die Ablenkungswinkel bequem

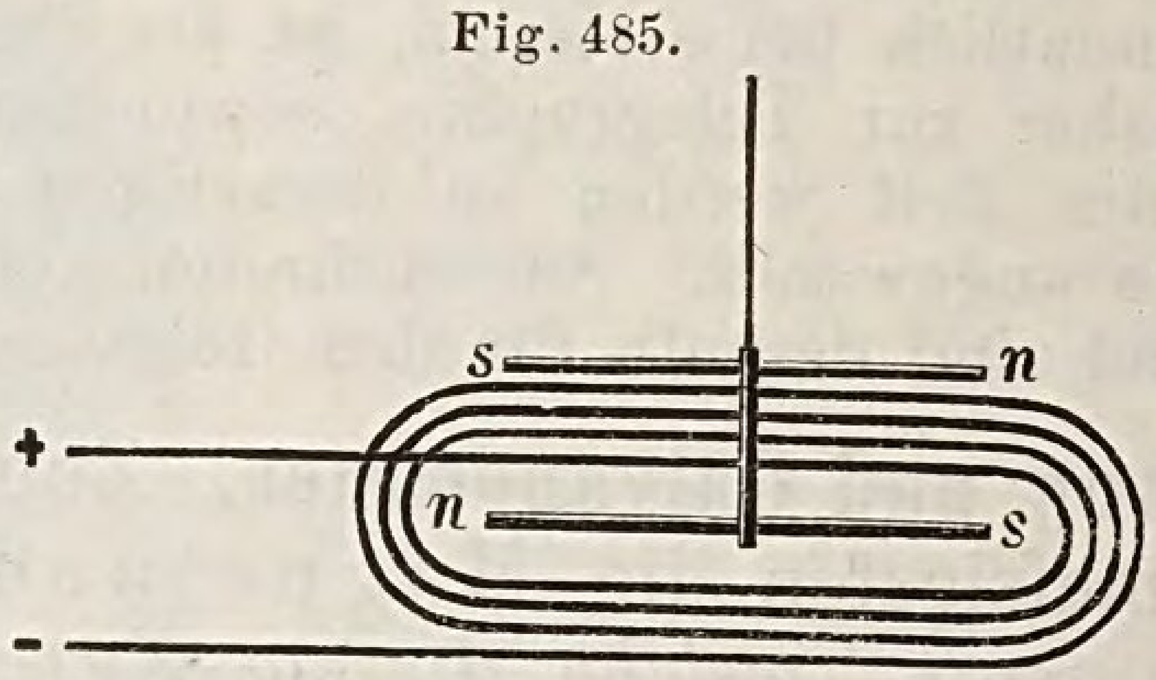
miteinander verglichen werden können, ist auf der drehbaren Achse der Nadel ein Zeiger befestigt, dessen Spitze sich auf einer Kreisteilung bewegt und die Gröfse des Ausschlages in Graden angiebt.

Fig. 484.



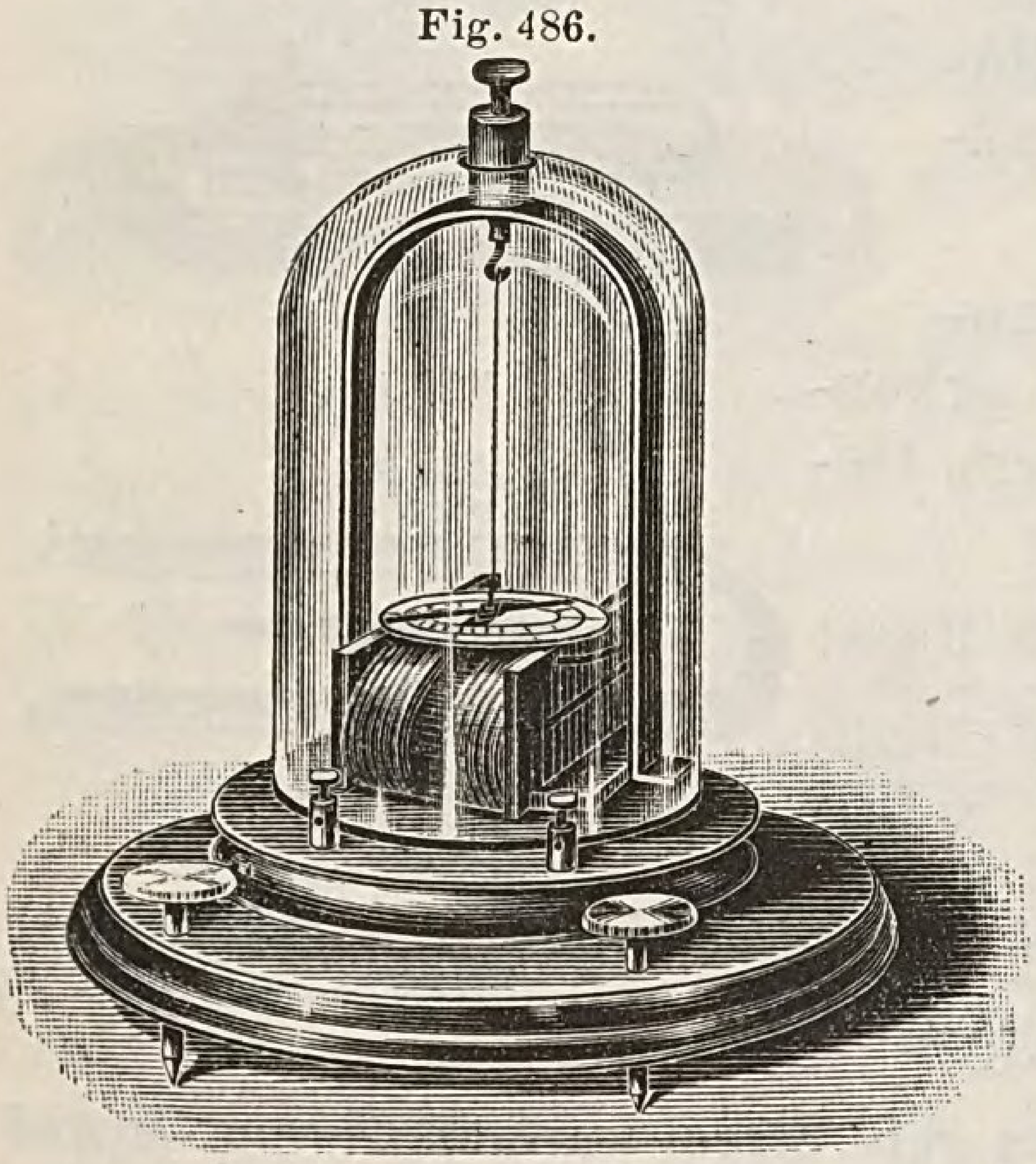
Zum Nachweis äufserst schwacher Ströme dienen Galvanometer, welche ein an einem Coconfaden hängendes **Nadelpaar** enthalten (Fig. 485). Beide Nadeln sind möglichst gleichstark magnetisiert und mit ihren ungleichnamigen Polen parallel übereinander befestigt, sodafs die untere Nadel zwischen, die obere über zahlreichen Drahtwindungen schwebt, die über einen kleinen hölzernen Rahmen gelegt sind (vgl. Fig. 486). Dadurch ist die richtende Wirkung, welche der Erdmagnetismus auf die Nadeln ausübt, aufgehoben; die Nadeln heifsen deshalb astatisch, d. h. leicht beunruhigt.

Fig. 485.



Das Instrument bezeichnet man als **Multiplikator,** *da die Einwirkung des Stromes auf die Nadel dadurch vervielfältigt wird, dafs er die Windungen des Leitungsdrahtes durchläuft.*

Fig. 486.



Der Multiplikator kann zum Nachweise und auch zur Messung sehr schwacher Ströme angewendet und mithin auch als Galvanometer gebraucht werden. Beträgt die Ablenkung der Nadel nur wenige Grade, so läfst sich das Verhältnis der Stromstärken dem Verhältnis der Ablenkungswinkel gleichsetzen. Bei stärkeren Ablenkungen der Nadel ist auf eine gröfsere Stromstärke zu schliefsen, als die Zunahme des Winkels ergeben würde. Dies wird dadurch erklärlich, dafs die Entfernung der Magnetpole von den Drahtwindungen mit der Stärke der Ausschläge der Nadel zunimmt.

Zur Messung stärkerer Ströme wendet man gewöhnlich die **Tangentenboussole** (Fig. 487, folg. Seite) an. Dieselbe ist *ein Galvanometer, bei welchem im Mittelpunkte eines kreisförmigen kupfernen Reifens von 20—40 cm Durchmesser eine Deklinationsnadel aufgehängt ist.* Damit die Entfernungen, aus denen der Strom auf die Nadel einwirkt, bei allen Stellungen der Nadel nahezu gleich sind, ist die Nadel höchstens $\frac{1}{5}$ so lang als der Durchmesser des Reifens. Dies ergiebt ein einfaches

Verhältnis zwischen Stromstärke und Ausschlag: **Die Stromstärken verhalten sich zu einander wie die trigonometrischen Tangenten der Ablenkungswinkel** (Fig. 488).†)

Fig. 487.

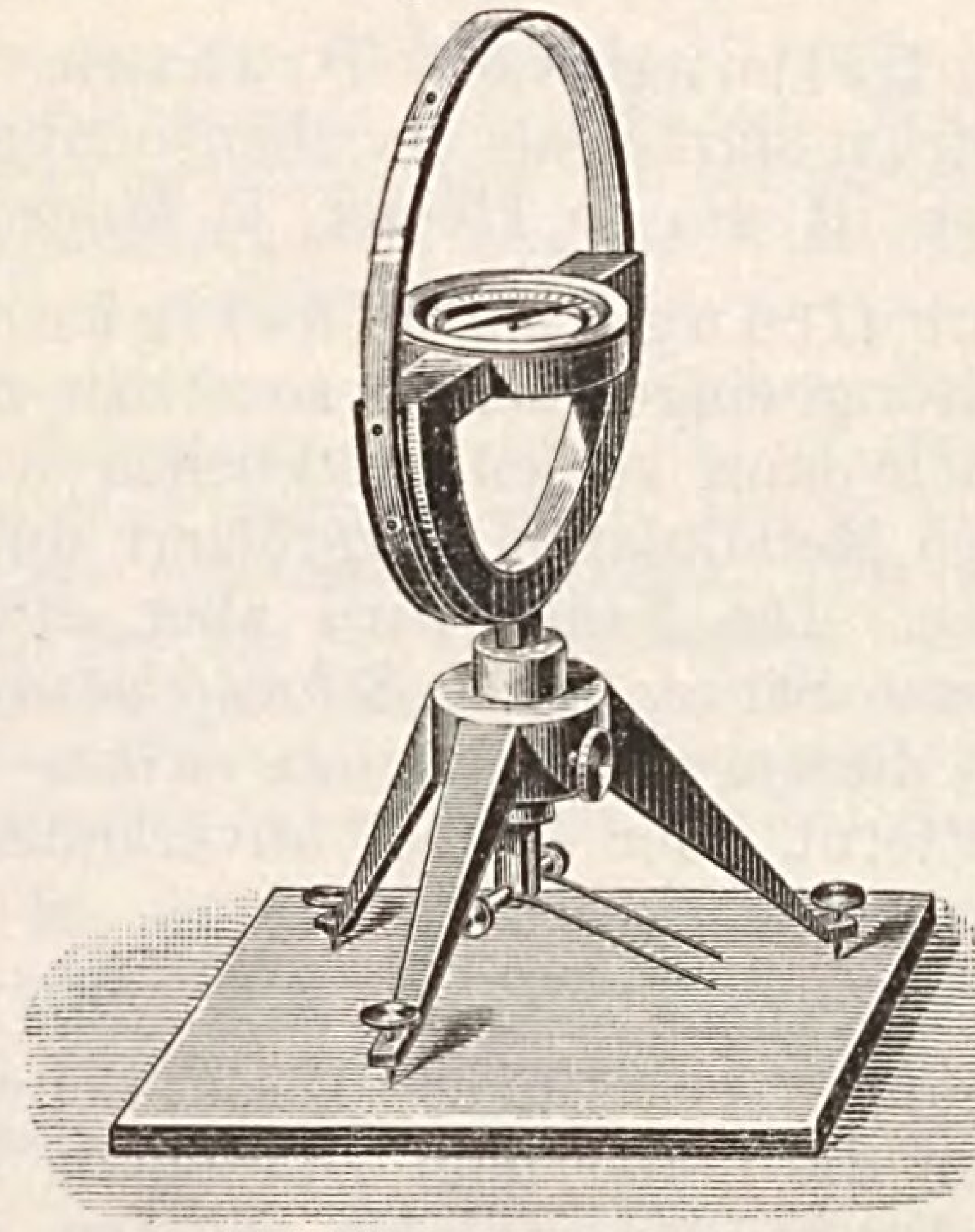


Fig. 488.



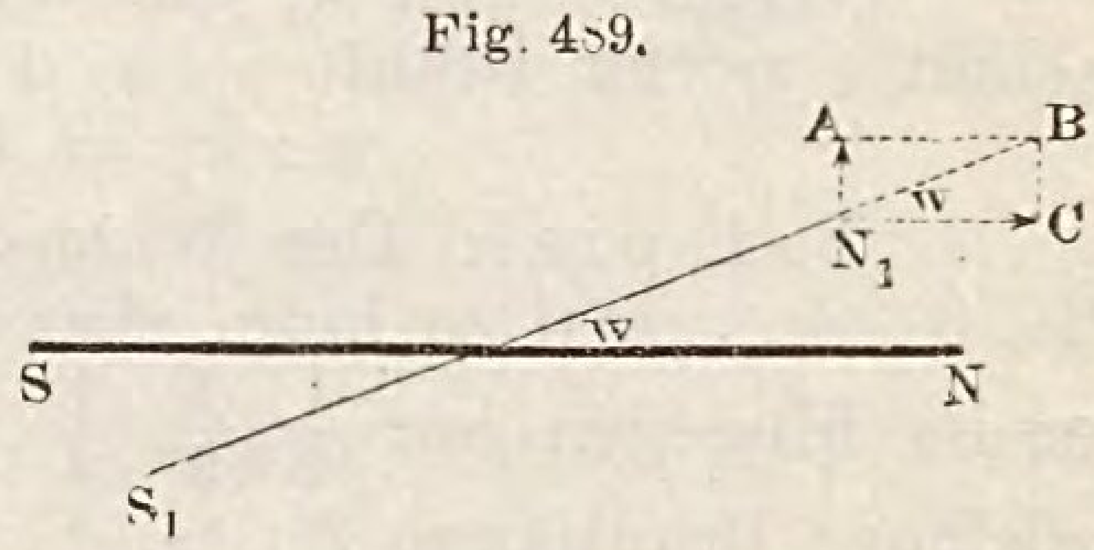
Übungsstoff. 1. Weshalb wendet man bei konstanten Elementen in der Regel zwei Flgkn. an? — 2. Welchen Zweck hat die Thonzelle, welche Beschaffenheit mufs sie demnach haben und auf welche Weise kann sie geprüft werden? (Eine gute Thonzelle mufs reines W. in 4 Minuten durchschlagen lassen.) — 3. Das käufliche Zink enthält gewöhnlich Beimischungen von Eisen und anderen Metallen. Inwiefern müssen dieselben die Stärke des Stromes vermindern und die Zerstörung der Zinkplatte befördern? — 4. Welchen Zweck hat demnach das Amalgamieren der Zinkplatten? — 5. Welchen Einflufs müfste es auf die Stromstärke eines Volt. Elem. ausüben, wenn man durch die Flgk. desselben andauernd einen Strom atm. Luft hindurchtriebe, u. w.? — 6. Der Einflufs des Wasserstoffs ist bei einem frisch zusammengesetzten Volt. Elem. erst bemerklich, nachdem der Strom einige Zeit gewirkt hat. Inwiefern erklärt sich dies aus der Einwirkung der an der Kupferplatte haftenden Luftschicht und der im W. gelösten Luft? — 7. Wenn die Kohlenplatten von Chromsäure-Elementen längere Zeit an der Luft gestanden haben, so ist die Stromstärke anfangs am gröfsten, zeigt aber bald eine Abnahme. Erkl.! (Porosität der Kohle.) — 8. Um den Leitungswiderstand der Flgk in Chromsäure-Elementen zu vermindern, bringt man die Platten nahe aneinander. Welchen Nachteil hat dies bei längerem Gebrauche? (Umschütteln.) — 9. Wie läfst sich mit Hilfe eines Galvanoskopes ein Blitzableiter prüfen? — 10. Welche Vorteile bieten folgende Einrichtungen eines Galvanometers: a. Anwendung einer astatischen Nadel; b. Aufhängung derselben an einem ungedrehten Seidenfaden; c. Bedeckung mit einer Glasglocke; d. Anwendung vieler Drahtwindungen?

§ 137. Widerstand. Ohmsches Gesetz. Stromstärke.

Leitungswiderstand. **Versuche.** Schaltet man in den Schliefsungsbogen eines konstanten galv. Elementes aufser einem Galvanoskop (Fig. 475)

†) Der Strom, welcher durch den im magn. Meridian stehenden Reifen fliefst, gebe der Nadel die Lage S_1N_1 (Fig. 489). Dann wirken auf jeden Pol 2 Kräfte ein, nämlich die richtende Kraft des Erdmagnetismus (P) und die ablenkende Kraft des galv. Stromes (K). Ersterer strebt die Nadel in der NS-Richtung zu erhalten, letzterer strebt sie senkrecht dazu zu stellen. In Fig. 489 seien diese Kräfte für den Nordpol durch N_1C (= P) und N_1A (= K) bezeichnet. (Die auf den Südpol wirkenden Kräfte sind entgegengesetzt gerichtet.) Die Nadel kommt zur Ruhe, wenn die Mittelkraft in die Richtung der Nadel selbst fällt. Ist nun w der Ablenkungswinkel, so ist K = P. tang w, für einen anderen Ablenkungswinkel (w_1) ist ebenso K_1 = P. tang w. Folglich ist

Fig. 489.



$$K : K_1 = P \,.\, \text{tang}\, w : P \,.\, \text{tang}\, w_1 = \text{tang}\, w : \text{tang}\, w_1.$$

nacheinander verschiedene Metalldrähte und Flüssigkeiten ein, so ändern sich die Ausschläge der Nadel, woraus man auf eine Änderung der Stromstärke schliefsen mufs.

1) Einschaltung von Drähten. a. Ein *Eisendraht* z. B. schwächt den Strom stärker als ein ebenso langer und dicker *Kupferdraht*. b. Der Ausschlag ist um so kleiner, je *länger* und *dünner* der Draht ist.

2) Einschaltung von Flüssigkeiten. a. Wird *reines Wasser* in die Stromleitung eingeschaltet, so erhält man selbst bei bedeutender Stromstärke auch dann keinen merklichen Ausschlag, wenn die beiden Polflächen durch Metallplatten vergröfsert und diese einander sehr nahe gebracht werden. Die Nadel wird aber etwas abgelenkt, sobald man dem Wasser eine Säure, z. B. *Schwefelsäure,* beimischt. b. Der Ausschlag wird in diesem Falle kleiner, wenn man die Polplatten weiter voneinander entfernt, oder sie bei unverändertem Abstande langsam aus der Flüssigkeit heraushebt.

Derartige Versuche lehren, dafs alle Körper den el. Strom bei seinem Durchgange schwächen. Diese Schwächung beruht auf einem *Widerstand,* den die Leiter dem Durchgang des Stromes entgegensetzen und der von diesem überwunden werden mufs, ähnlich wie Wasser, welches durch eine Röhrenleitung fliefst, einen Reibungswiderstand zu überwinden hat.

Genaue Messungen, welche sich mit Hilfe einer Tangentenboussole anstellen lassen, führen zu dem Satze:

Der Widerstand eines festen oder flüssigen Leiters ist abhängig von dem specifischen Leitungsvermögen desselben; er steht ferner im geraden Verhältnis zur Länge und im umgekehrten zum Querschnitt des festen Leiters oder der vom Strome durchflossenen Flüssigkeitssäule.

Die besten E.s-Leiter sind die Metalle, namentlich Silber und Kupfer. Kupfer leitet ungefähr $\frac{6}{7}$-, Gold $\frac{3}{4}$-, Messing $\frac{1}{5}$-, Eisen und Platin $\frac{1}{8}$ mal so gut als Silber. Die besten Wärmeleiter sind demnach auch die besten Elektricitätsleiter (vergl. § 34). *Das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten ist sehr gering.* Die Leitungsfähigkeit von Wasser, welchem 30 % Schwefelsäure zugesetzt ist, beträgt $\frac{1}{800000}$, die von konz. Salpetersäure kaum 1 Milliontel, die einer konz. Lösung von Kupfervitriol nur etwa 1 Zwölfmilliontel von der des Silbers. Vollkommen reines Wassers kann als Nichtleiter angesehen werden.

Das Leitungsvermögen ist von der Temperatur abhängig; bei den Metallen wird es durch Temperaturzunahme vermindert, bei den Flüssigkeiten erhöht.

Wenn w und w_1 die Widerstände, l und l_1 die Längen, q und q_1 die Querschnitte zweier Drähte von demselben Metalle bedeuten, so ist in Zeichen:

$$w : w_1 = l : l_1, \quad \text{aber} \quad w : w_1 = q_1 : q.$$

Beispiel: Der Widerstand ist **2**-, **3**-, **4**...mal so grofs, wenn der Draht 2-, 3-, 4...mal so lang, aber ebenso dick ist als ein anderer von demselben Metalle; er ist hingegen nur $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$... so grofs, wenn der Querschnitt des Drahtes bei gleicher Drahtlänge 2-, 3-, 4...mal so grofs ist.

Um die Gröfse der Widerstände in Zahlen ausdrücken zu können, führte *Werner Siemens* den Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0° als **Widerstandseinheit** ein (Siemens-Einheit oder auch kurz **1 Siemens**). Später entschied man sich für die Einführung einer Widerstandseinheit,

welche von der Siemens-Einheit etwas abweicht. Man nannte dieselbe das **Ohm** zu Ehren *Ohms*, des Physikers, welcher (1827) die Gesetze der Stromstärke entdeckte. *Ein Ohm ist der Widerstand eines Quecksilberfadens von 106 cm Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0*^{0} (**1 Ohm = 1,06 Siemens**).

Für die praktischen Zwecke der Elektrotechnik würde der Gebrauch von Quecksilbersäulen zu Widerstandsmessungen unbequem sein. Man bedient sich deshalb bestimmter Apparate, welche Neusilberdrähte von bekanntem Widerstande enthalten. Dieselben sind so eingerichtet, dafs man die Widerstände ein- und ausschalten kann, ohne den Strom zu unterbrechen (Rheostate).

Innerer Widerstand. Der el. Strom erleidet schon beim Durchgange durch das ihn erzeugende Element eine Schwächung, welche um so gröfser sein mufs, je geringer das Leitungsvermögen der Flüssigkeit ist, je kleiner die Platten des Elementes sind und je weiter diese voneinander abstehen. (Die angeführten Zahlen ergeben, dafs diese Schwächung fast nur von der Flüssigkeit herrührt.) Man unterscheidet daher den Widerstand im galv. Elemente als inneren oder wesentlichen Widerstand von dem Widerstande im Schliefsungsbogen und nennt letzteren den äufseren oder aufserwesentlichen Widerstand.

Ohmsches Gesetz. In welcher Weise die Stromstärke von der elektromotorischen Kraft und vom Leitungswiderstande abhängig ist, wird durch das *Ohmsche Gesetz* ausgedrückt, dessen Richtigkeit sich durch genaue Versuche bestätigen läfst:

Die Stromstärke steht im geraden Verhältnis zur elektromotorischen Kraft und im umgekehrten Verhältnis zur Gröfse des Widerstandes.

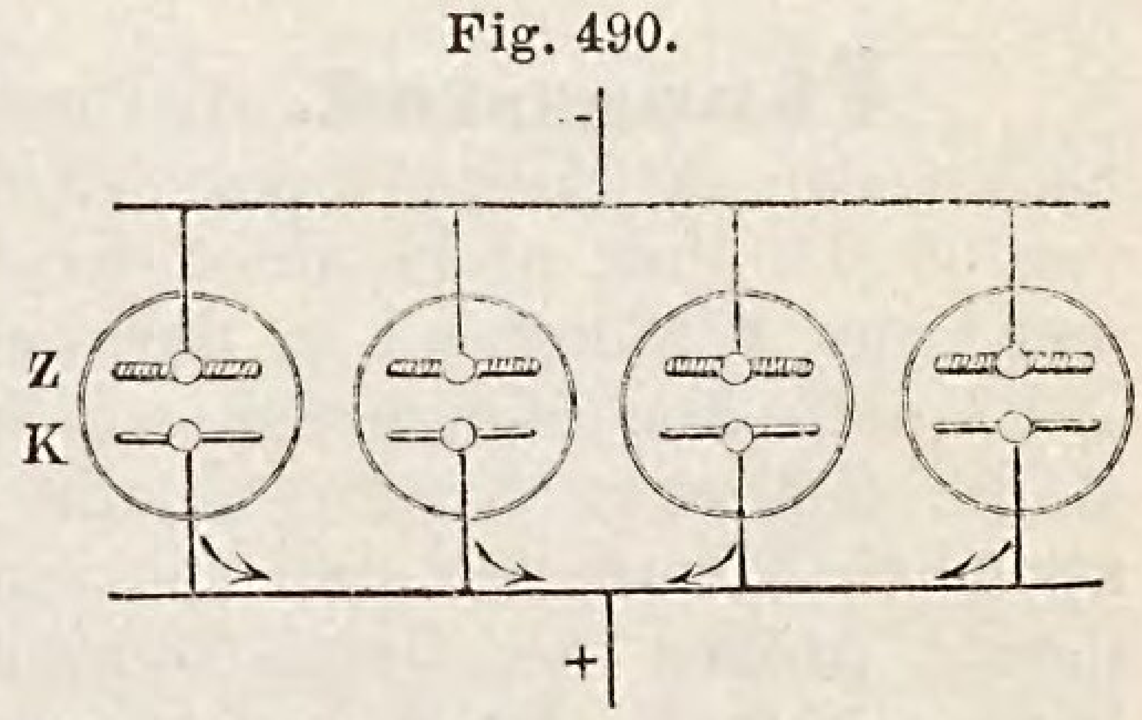
Wenn S und S_1 die Stromstärken, E und E_1 die elektromotorischen Kräfte, W und W_1 die Gesamtwiderstände bedeuten, so ist in Zeichen:

$$S = \frac{E}{W}; \quad \text{also} \quad S : S_1 = E : E_1, \quad \text{aber} \quad S : S_1 = W_1 : W.$$

Aus dem Ohmschen Gesetze ergeben sich wichtige Folgerungen. Bei der Verbindung mehrerer galv. Elemente zu einer Batterie (siehe Fig. 478) nimmt die elektromotorische Kraft ebenso zu, wie die Anzahl der Elemente, aber in demselben Verhältnis wächst auch der innere Widerstand, da der Strom durch alle Elemente hindurchgehen mufs. Es sind demnach zwei Fälle zu unterscheiden:

1. *Ist der äufsere Widerstand im Verhältnis zum inneren Widerstande sehr gering* (kurzer, dicker Draht, sogen. „Kurzschlufs"), *so hat der Strom eines einzelnen Elementes fast genau dieselbe Stärke wie der Strom einer Batterie von beliebig vielen Elementen; eine Stromverstärkung mufs dann durch Verminderung des inneren Widerstandes bewirkt werden.* In diesem Falle hat man also entweder ein Element mit grofsen Platten anzuwenden, oder sämtliche Elemente *gleichnamig* (*nebeneinander*, d. h. alle Zinkplatten und ebenso alle Kupferplatten unter sich) zu verbinden (Fig. 490). Dadurch wird bei der gegebenen Gröfse der elektromotorischen Kraft der Gesamtwiderstand möglichst vermindert.

Fig. 490.



2. *Ist der äufsere Widerstand sehr grofs* (z. B. sehr langer dünner Draht einer Telegraphenleitung oder eine Flüssigkeit), *so wird der Strom des einzelnen Elementes dadurch sehr geschwächt; zur Ver-*

stärkung des Stromes mufs deshalb die elektromotorische Kraft vergröfsert werden. Dies ist dadurch zu erreichen, dafs man mehrere Elemente *ungleichnamig* (*hintereinander,* Fig. 478) verbindet. Wenn hierbei auch der innere Widerstand wächst, so vermag dies doch wegen der verhältnismäfsig geringen Gröfse desselben am Gesamtwiderstande nur sehr wenig zu ändern. Die durch den äufseren Widerstand auf einen kleinen Bruchteil verminderte Stromstärke des einzelnen Elementes vervielfacht sich demnach mit der Anzahl der Elemente.

Diese Folgerungen aus dem Ohmschen Gesetz lassen sich durch einfache Formeln ausdrücken. n bezeichne die Anzahl der Elemente, e die elektromotorische Kraft und w den inneren Widerstand eines Elementes, l den äufseren (Leitungs-) Widerstand. Dann ist zunächst:

$J = \frac{ne}{nw + l}$. Wird l = 0 (1. Fall), so ist $J = \frac{ne}{nw}$; ist l dagegen sehr grofs (2. Fall), so verschwindet das Glied n.w dagegen und es wird $J = \frac{ne}{l}$.

Als **Einheit für die Stromstärke** hat man unter Beziehung auf die chemische Wirkung des Stromes (§ 139) die Stärke eines Stromes eingeführt, welcher bei der Wasserzersetzung in 1 Min. 10,44 ccm Knallgas von 0° und 760 mm Druck entwickelt. Man nennt diese Einheit **1 Ampère.** — Als **Einheit der elektromotorischen Kraft** wird die elektromotorische Kraft eines galv. Elementes angenommen, das eine Stromeinheit (1 Ampère) erzeugt, wenn der Widerstand 1 Ohm beträgt. Diese Einheit heifst **1 Volt** und entspricht ziemlich genau der elektromotorischen Kraft eines Daniellschen Elementes.

Nach dem Ohmschen Gesetze ist demnach 1 Ampère $= \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$.

Um die Stromstärke mittelst der Tangentenboussole nach Ampèreschen Einheiten messen zu können, hat man zunächst zu ermitteln, wieviel ccm Knallgas vom Strome in 1 Min. entwickelt werden, wenn die Nadel der zugleich eingeschalteten Boussole um 45° abgelenkt wird, da dann die Tangente des Ablenkungswinkels gleich 1 ist. Die erhaltene Zahl bildet den Reduktionsfaktor der betreffenden Boussole. Multipliziert man diese Zahl mit der Tangente des Ablenkungswinkels eines beliebigen galv. Stromes, so erhält man die gesuchte Stromstärke nach der chemischen Wirkung in ccm Knallgas, oder aber in Ampèreschen Einheiten, wenn man die Anzahl der Kubikcentimeter durch 10,44 dividiert.

Übungsstoff. **1.** Durch eine Telegraphenleitung von 100 m Länge soll ein Strom von 30 Milli-Ampère (0,030 Amp.) gesendet werden. Wv. Meidinger-Elemente von je 0,9 Volt elektromot. Kraft und 5 Ohm innerem Widerstand sind erforderlich, wenn der Widerstand in der Leitung und im Apparat 750 Ohm beträgt? — **2.** Von 2 Daniellschen Elementen sei das eine gröfser als das andere. Wie verhalten sich a. die elektrom. Kräfte, b. die Stromstärken? — **3.** Bei den Groveschen und Bunsenschen Elementen sind die inneren Widerstände kleiner, beim Meidingerschen Elemente gröfser als beim Daniellschen. Was folgt hieraus unter Berücksichtigung ihrer elektrom. Kraft betreffs der Stromstärke? — **4.** Läfst man die Ströme zweier Elemente, welche sich nur durch ihre Gröfse unterscheiden, gegeneinander wirken, indem man 2 gleichnamige Pole mit einem Galvanoskope und die beiden anderen unter sich verbindet, sodafs also für beide Ströme die Widerstände gleich sind, so erhält man keinen Ausschlag. Verhältnis der elektrom. Kräfte? — **5.** Läfst man die Ströme eines Bunsenschen und eines ebenso grofsen Daniellschen Elementes wie vorhin gegeneinander wirken, so erhält man einen Ausschlag nach der Richtung, in welcher die Nadel durch das Bunsensche Element allein abgelenkt werden würde. Erkl.! — **6.** Ein galv. Strom entwickle in 1 Min. 60 ccm Knallgas und

lenke die Nadel einer bestimmten Tangentenboussole um 45° ab. Wv. ccm Knallgas entstehen hiernach durch Ströme, welche Ausschläge von 10°, 20°, 30° bewirken? — 7. Wv. Ampère beträgt in jedem Falle die Stromstärke?

Wirkungen des galvanischen Stromes.

a. Wirkungen im Stromkreise.

Man unterscheidet *Wirkungen im Stromkreise* und *Wirkungen aufserhalb der Strombahn*, je nachdem der galv. Strom auf Körper einwirkt, welche er durchströmt, oder auf solche, an denen er in einer geringen Entfernung vorbeigeleitet wird. Von den Wirkungen der ersteren Art kommen hauptsächlich die *Wärme-* und *Lichtwirkungen*, sowie die *chemischen Wirkungen* in Betracht.

Bem. Die *physiologischen Wirkungen* sind als *Wirkungen der Induktionsströme* in § 141 behandelt.

§ 138. Wärme- und Lichtwirkung.

1. Wärmewirkung. **Versuch a.** Dünne Metalldrähte, die man in den Schliefsungsbogen einer galv. Batterie einschaltet, erwärmen sich je nach dem specifischen Leitungswiderstand verschieden stark. Ein kurzer und dünner Platin- oder Eisendraht z. B. wird durch den Strom leicht glühend, während Kupfer- und besonders Silberdrähte von gleicher Ausdehnung wegen ihres geringeren Leitungswiderstandes sich weniger erwärmen. — Auch flüssige Leiter erwärmen sich durch den Strom. So wird z. B. die Flüssigkeit der galv. Elemente fühlbar warm, wenn diese längere Zeit gebraucht werden.

Die in einem Stromkreise entwickelte Wärmemenge ist proportional dem Widerstande, dem Quadrate der Stromstärke und der Zeit, während welcher der Strom fliefst.

Dieses Gesetz wurde (1841) durch den englischen Forscher *Joule* (spr. Dschaul) nachgewiesen, indem er Leitungsdrähte in einem Kalorimeter durch Alkohol führte und dessen Erwärmung beobachtete.

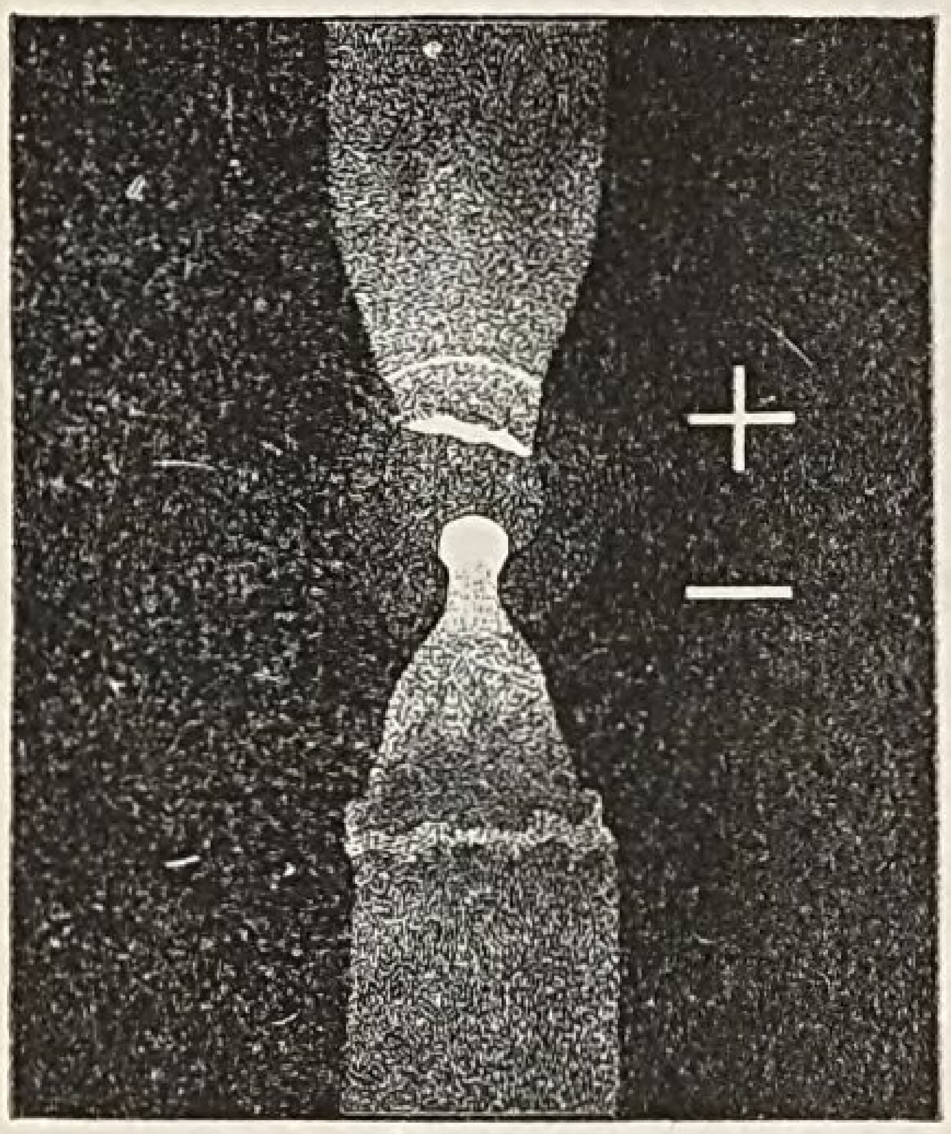
Von dem Glühen dünner Drähte durch den galv. Strom macht man Anwendung, um in gefahrloser Weise Sprengstoffe aus gröfserer Entfernung zu entzünden, z. B. beim Sprengen von Felsen, Zerstören feindlicher Festungswerke u. dgl. Mit gröfserer Sicherheit bewirkt man die Entzündung von Sprengstoffen durch el. Funken, die durch Induktionsströme (§ 141) erzeugt werden. In der Heilkunde werden galv. glühende Platindrähte zum Abschneiden von Geschwülsten benutzt.

2. Lichtwirkung. **Versuch b.** Wird der in § 134 angegebene Versuch d mit einer aus mehreren kräftigen Elementen zusammengesetzten Batterie ausgeführt, so strahlen die Kohlenspitzen ein glänzendes Licht aus. Bei Anwendung von einigen 20 bis 30 Elementen können die Kohlenstäbchen, nachdem sie sich zuerst berührt hatten, dauernd bis zu einem gewissen Abstande voneinander entfernt werden, ohne dafs ein Erlöschen des Lichtes stattfindet, der Lichtpunkt wird vielmehr zu einer blendend hellen Flamme (Fig. 491, folg. Seite).

Der galv. Funke entsteht nicht, wie der durch Reibungs-E. erzeugte, durch eine Vereinigung beider Elektricitäten in der Luft. Dazu ist die Spannung der galv. E. viel zu gering. Sind die Kohlenspitzen

zunächst bei gegenseitiger Berührung glühend geworden, so werden nachher bei geringem Abstande derselben vorzugsweise von der positiven Kohle durch den Strom weifsglühende Teilchen losgerissen und nach dem — Pol hinübergeführt, sodafs die Leitung durch die Kohlenteilchen und durch die glühende Luft unterhalten wird; der + Kohlenstab wird infolgedessen kraterförmig ausgehöhlt.

Fig. 491.

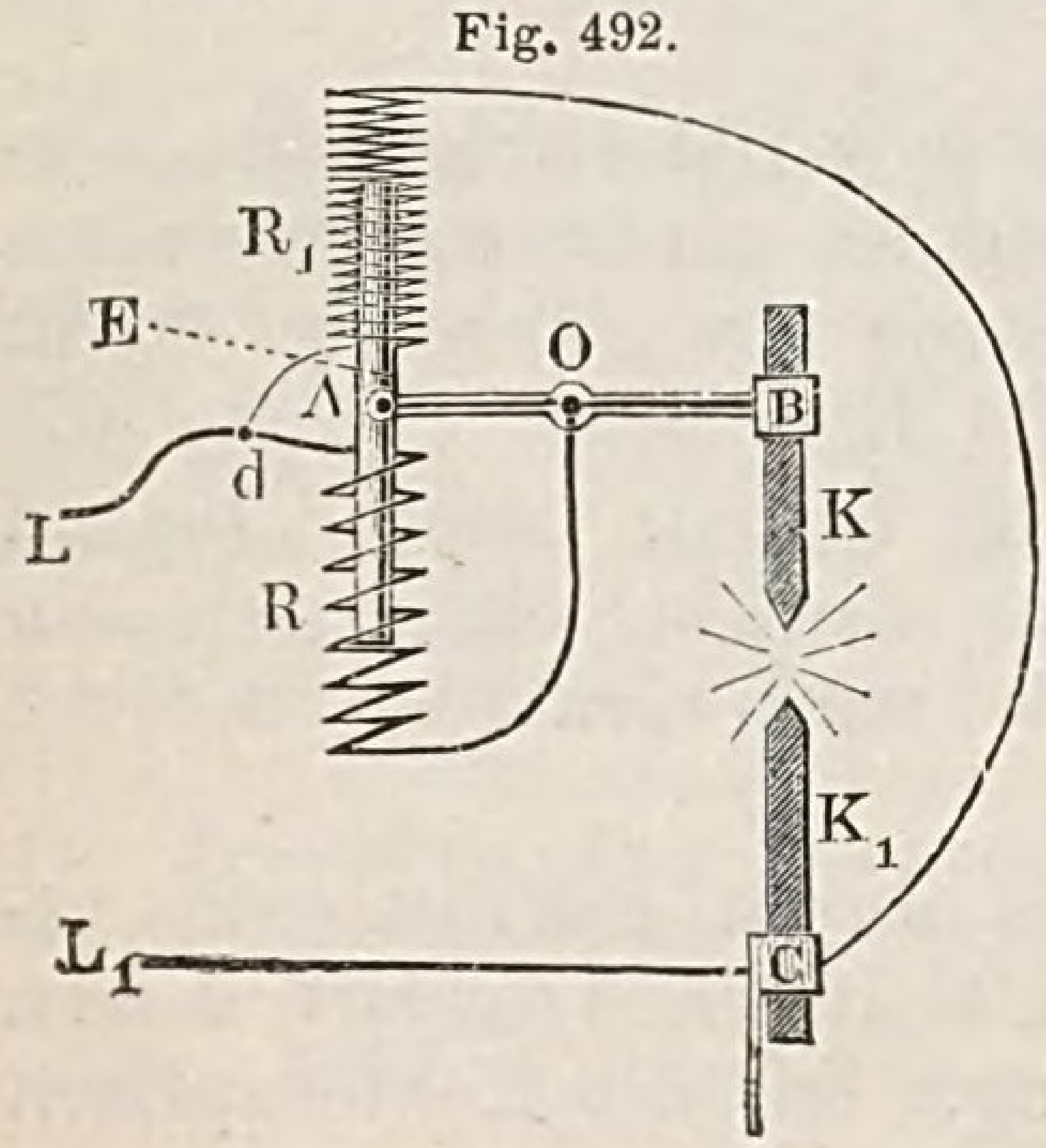


Das el. Licht wurde zuerst (1821) von *Davy* erzeugt. Da er die Kohlenstäbe in horizontale Lage brachte, so nahm der Lichtstrom die Form eines nach oben gewölbten Bogens an: *Voltascher* oder *Davyscher Bogen*. Aus diesem Grunde hat das durch glühende Kohlenspitzen erzeugte Licht den Namen **elektrisches Bogenlicht** erhalten. Von allen irdischen Lichtquellen hat dasselbe die stärkste Leuchtkraft. Der el. Lichtbogen strahlt beinahe halb soviel Licht aus als eine gleichgrofse Fläche der Sonne und hat eine Temperatur von etwa 3500°, bei welcher die Kohle verdampft. Seine Temperatur ist bei starken und bei schwachen Strömen dieselbe.

Da die Kohlenspitzen verbrennen, so wird ihr gegenseitiger Abstand und damit auch der Leitungswiderstand gröfser. Dies hat schliefslich ein Erlöschen des Lichtes zur Folge. Eine praktische Anwendung vom el. Bogenlichte konnte man daher erst machen, nachdem man Apparate erfunden hatte, durch welche die Kohlenspitzen in immer gleichem Abstande erhalten werden (**Kohlenlicht-Regulatoren** oder **Bogenlampen**). Seitdem wird das el. Licht zur Erleuchtung grofser Räume, zur Beleuchtung von Strafsen und öffentlichen Plätzen, zur Küstenbeleuchtung auf Leuchttürmen, zur Beleuchtung mikroskopischer Objekte im Sonnenmikroskop und zu mancherlei anderen Zwecken angewandt. Da die Erzeugung starker Ströme durch galv. Elemente zu umständlich und kostspielig ist, so verwendet man bei el. Lichtanlagen ausschliefslich Dynamomaschinen (§ 143).

Durch die Regulatoren ist auch eine Teilung des el. Lichtes möglich, d. h. der Betrieb mehrerer in denselben Stromkreis hintereinander geschalteter Lampen. Die Teilung des el. Lichtes gelang zuerst durch die *Jablochkoffschen Kerzen*. Dieselben bestehen aus 2 isoliert nebeneinander befestigten Kohlenstäbchen, deren Spitzen anfänglich durch ein Graphitstäbchen leitend verbunden, aber nach dem Verbrennen des Graphits zur Erzeugung des Lichtbogens getrennt sind. Das Erlöschen einer Kerze hat jedoch das Versagen aller zur Folge und aufserdem ist ihr Licht durch seine Farbe und durch Flackern unangenehm.

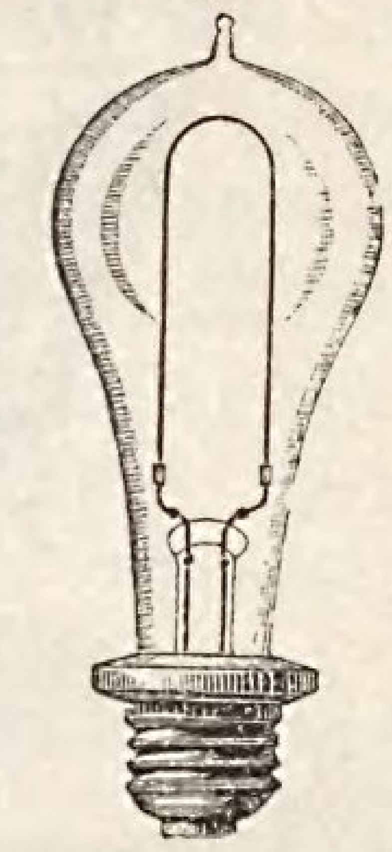
Fig. 492.



In weit vollkommnerer Weise wird die Teilung des el. Lichtes dadurch erreicht, dafs man jede in den Strom eingeschaltete Lampe durch eine Nebenleitung von den übrigen und von der Hauptleitung möglichst unabhängig macht. Eine derartige Einrichtung zeigt z. B. die **Differentiallampe** von *Siemens und Halske (Hefner-Alteneck)* in Berlin (Fig. 492). Von den beiden Kohlenstäbchen (K und K_1) ist das obere an dem einem Arm eines zweiarmigen Hebels (AB) befestigt, dessen anderer Arm einen Eisenstab (E) trägt, welcher mit jedem Ende in eine Drahtspule hineinragt. Die untere Spule (R) besteht aus dickem Draht und bildet einen Teil der Hauptleitung ($LdROKK_1CL_1$);

die obere Spule hingegen besteht aus dünnem Draht und stellt eine Nebenschliefsung von grofsem Widerstande dar, durch welche der Strom (von d aus) nur teilweise hindurchfliefst, wenn die Lampe brennt; der Strom mufs aber ganz durch diese Leitung gehen, wenn die Lampe durch zu grofse Entfernung der Kohlenspitzen erloschen, die Hauptleitung also unterbrochen ist. In beiden Fällen kann sich demnach der Strom nach der nächsten, ebenso eingerichteten Lampe hin fortpflanzen. Erlischt nun die Lampe, so zieht die obere Spule den Eisenstab weiter in sich hinein (§ 140), die Kohlenspitzen berühren sich wieder und der Strom geht von neuem durch die Hauptleitung. Dadurch wird aber der Eisenstab mehr nach unten gezogen, sodafs die bis zur Weifsglut erhitzten Kohlenspitzen sich wieder voneinander entfernen. Dies setzt sich solange fort, bis die von beiden Spulen ausgeübten Anziehungen sich das Gleichgewicht halten und der Lichtbogen wieder vollständig hergestellt ist.

Fig. 493.



Als eine Lichtquelle von mäfsiger Stärke, wie sie z. B. für die Beleuchtung von Wohnräumen zweckmäfsig ist, wendet man das el. **Glühlicht** an. Dasselbe wird dadurch hervorgebracht, dafs man einen dünnen Kohlenfaden in einem kleinen birnförmigen und luftleer gemachten Glasballon durch den el. Strom zum Glühen bringt (Edisonsche Glühlichtlampe, Fig. 493). Bei Luftzutritt würde der Kohlenfaden sofort verbrennen; auch in der Glasbirne findet eine allmähliche Oxydation desselben statt, wodurch sich mit der Zeit der Leitungswiderstand der Kohle ändert und die Leuchtkraft der Lampe vermindert.

Übungsstoff. 1. Warum schmilzt der galv. Strom dünne Eisen- und Platindrähte leichter als Drähte von Kupfer und Silber, obgleich jene Metalle einen weit höheren Schmelzpunkt haben als diese? — 2. Was wird eintreten, wenn man einen galv. Strom durch eine Kette leitet, deren Glieder abwechselnd aus dünnen Platin- und Silberdrähten gebildet sind? — 3. Auf sogen. Gold- oder Silberpapier kann man mit einem Poldrahte nur dann sichtbare Schriftzüge hervorrufen, wenn der andere Poldraht und das Papier sich leitend berühren und der Draht zugespitzt ist; w.? — 4. Wie erklärt es sich, dafs ein galv. Funke entsteht, wenn man die Poldrähte einer Batterie voneinander entfernt (Unterbrechungs- oder Öffnungsfunke), während beim Schliefsen des Stromes kein Funke wahrzunehmen ist? — 5. Warum stellt man bei el. Bogenlampen, durch welche ein gleich gerichteter Strom geht, die positive Kohlenspitze über die negative? (Vergl. Fig. 491). — 6. Wenn die Stromrichtung stetig wechselt (Wechselströme, § 143), so zeigt sich keine Verschiedenheit im Abbrennen der Kohlenspitzen. Erkl.! — 7. Vorzüge des el. Lichtes im Vergleich mit anderen Lichtquellen! — 8. Es ist beobachtet worden, dafs das blendend helle el. Bogenlicht dichten Nebel weniger gut durchdringt, als das viel weniger helle Gas- oder Petroleumlicht. Erkl.! (Letztere Lichtquellen geben rötliches Licht.)

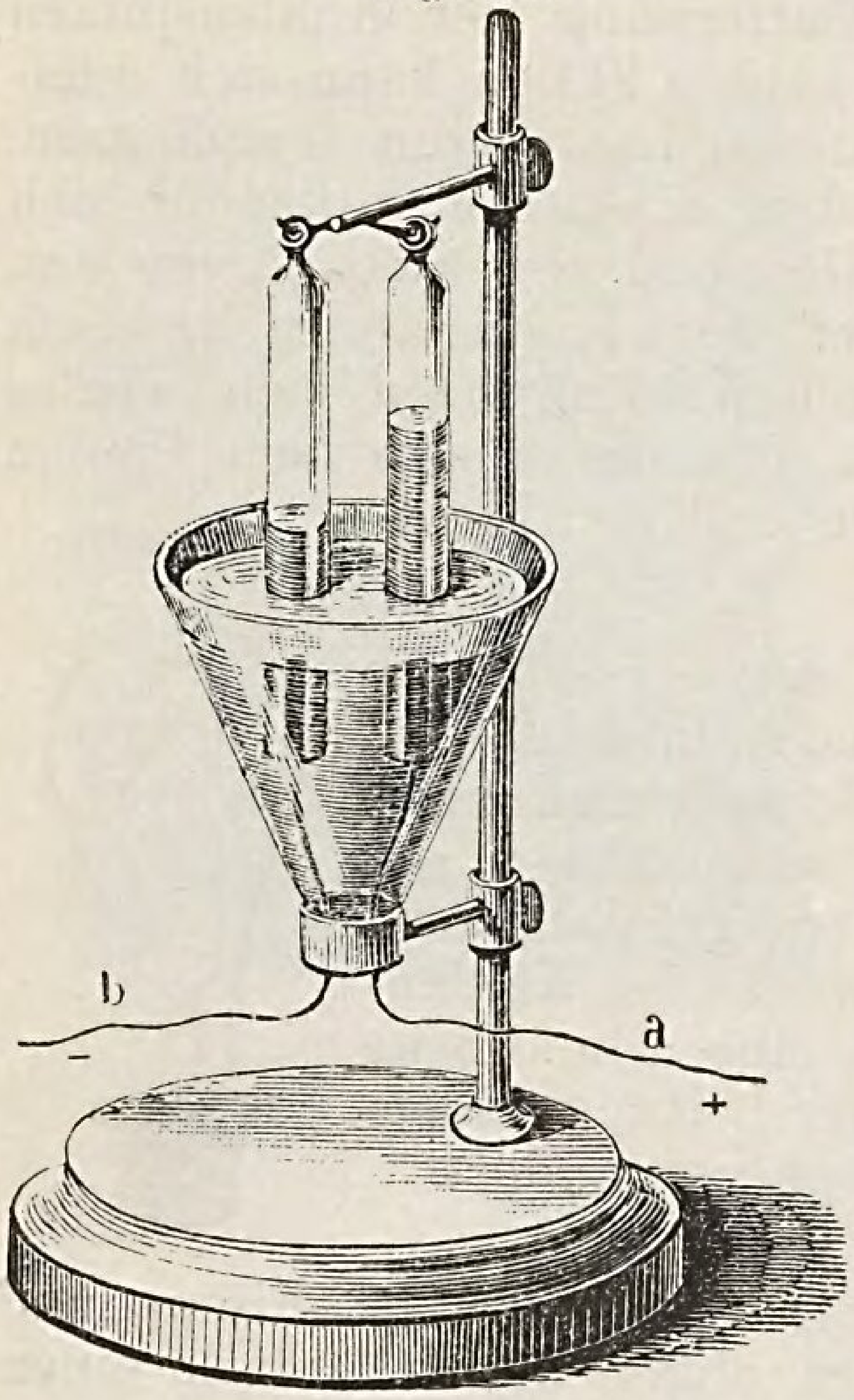
§ 139. Elektrolyse. Polarisationsstrom. Akkumulatoren. Nach § 134, Versuch e, bringt der el. Strom *chemische Wirkungen* hervor, indem er Flüssigkeiten zersetzt, durch die er hindurch geleitet wird.

a. Wasserzersetzung.

Versuch a. Taucht man zwei an die Poldrähte angelötete Platinplatten in Wasser, dem einige Tropfen Schwefelsäure beigemischt sind, so ist an den Platten eine um so lebhaftere Gasentwickelung wahrnehmbar, je stärker der Strom ist. Stülpt man über jede Platte eine oben geschlossene und mit W. gefüllte Glasröhre (Fig. 494, folg. Seite), so kann man die entwickelten Gase getrennt auffangen. Der Versuch ergiebt, dafs sich am +Pole Sauerstoff, am —Pole Wassertoff ansammelt, und zwar ist die Raummenge des letzteren Gases doppelt so grofs als die des ersteren.

Die Zersetzung des Wassers ist in Wirklichkeit nicht eine einfache Zerlegung desselben in seine beiden chemischen Bestandteile. Da bei Anwendung von ganz reinem Wasser sich keine Gase an den Platinplatten entwickeln, so muſs man schlieſsen, daſs nicht das Wasser (H_2O) als solches, sondern die dem Wasser beigemischte Schwefelsäure (H_2SO_4) zerlegt wird (in H_2 und $SO_3 + O$), und daſs der Schwefelsäurerest (das Anhydrit SO_3) sich sofort wieder mit Wasser zu Schwefelsäure verbindet, während der abgeschiedene Wasserstoff (H_2) und der Sauerstoff (O) frei bleiben. Das Wasser wird demnach also erst zersetzt, nachdem es in die Verbindung der die E. leitenden Schwefelsäure übergegangen ist und seine Elektrolyse ist mithin ein sekundärer Vorgang. — Ganz reines Wasser kann als ein nicht leitendes Oxyd angesehen werden.

Fig. 494.



Die durch den el. Strom bewirkte Zersetzung einer chemischen Verbindung wird als **Elektrolyse** *bezeichnet; den zersetzten Körper nennt man* **Elektrolyt,** *die Drahtenden* **Elektroden** *und zwar unterscheidet man nach der Richtung des Stromes* **Anode** *(„Hinaufweg") und* **Kathode** *(„Hinabweg").*

Diese Benennungen sind von *Faraday* (1833) eingeführt worden, während die Wasserzersetzung bereits von *Nicholson* und *Carlisle* (1800) entdeckt wurde.

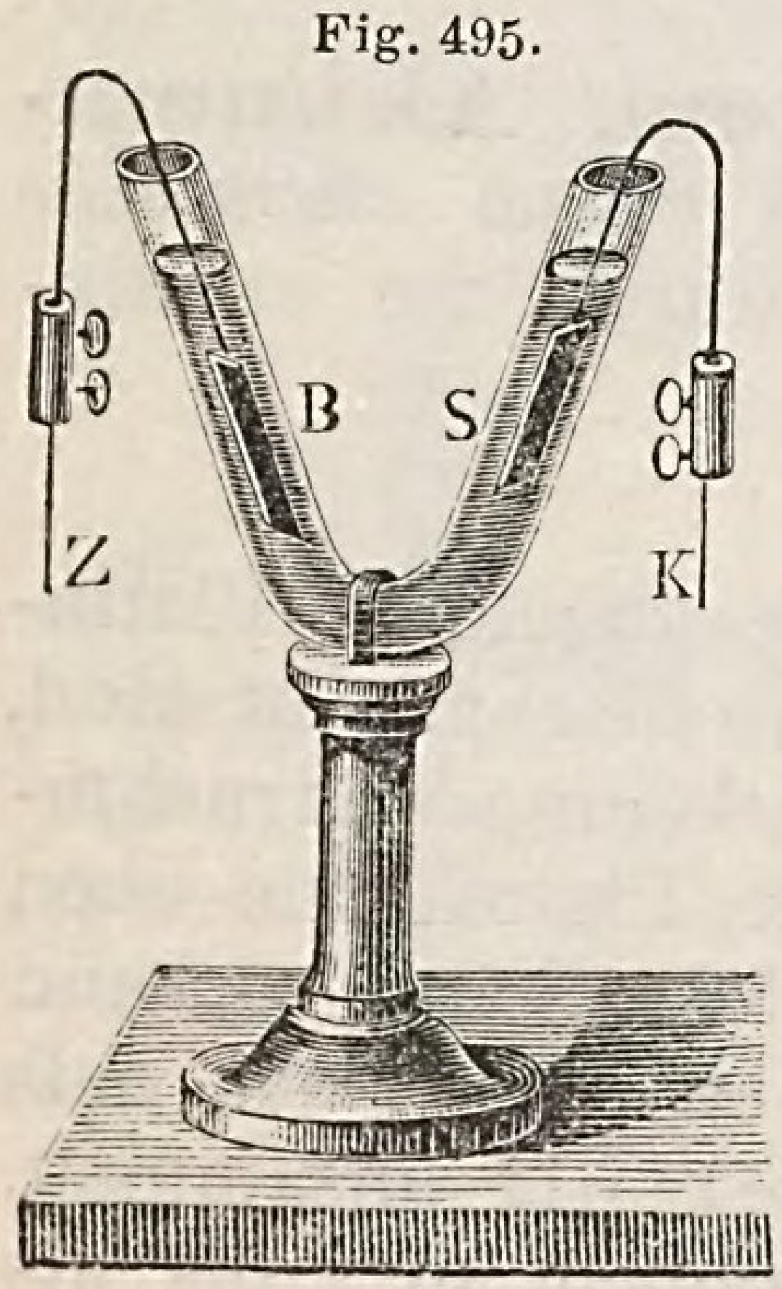
b. Elektrolyse anderer chemischen Verbindungen.

Bei der Zersetzung einer *binären* (aus 2 Grundstoffen bestehenden) *Verbindung* wird an der Kathode der Wasserstoff oder das Metall ausgeschieden. Beispiele: Zersetzung von Salzsäure (HCl), Chlornatrium ($NaCl$), Chlorsilber ($AgCl$), Jodkalium (KJ).

Auch bei der Zersetzung der *Sauerstoffsalze* scheidet sich das Metall am negativen Pol ab. Ein Beispiel bildet die Elektrolyse des schwefelsauren Kupferoxyds (Kupfervitriol).

Versuch b. Wird der galv. Strom durch eine konzentrierte Lösung von Kupfervitriol geleitet (Fig. 495), so überzieht sich die Kathode mit metallischem Kupfer. Vertauscht man die Pole, so verschwindet der metallische Niederschlag wieder und bildet sich auf der Platte, die jetzt Kathode ist.

Fig. 495.



Da in den *Sauerstoffsalzen* der Wasserstoff der Säuren durch ein Metall vertreten ist, so kann man sich ihre Zersetzung ebenso vorstellen, wie die der Schwefelsäure bei der Elektrolyse des Wassers. Das durch die Ausscheidung von Kupfer entstehende Anhydrit verbindet sich mit dem Wasser wieder zu Schwefelsäure und der Sauerstoff wird frei. Diese chemischen Vorgänge werden durch die Formeln ausgedrückt:

$$CuSO_4 = Cu + SO_4 \quad \text{und} \quad SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O.$$

Ist die Anode ein Metall, das von der Säure angegriffen wird, z. B. Kupfer, so löst es sich in derselben auf und zwar in derselben Menge, in welcher es sich an der Kathode niederschlägt.

Enthält das Salz ein Metall, das durch chemische Verwandtschaft auf das Wasser einwirkt, so entsteht ein sekundärer Vorgang derart, daſs das Wasser durch das ausgeschiedene Metall zersetzt wird. Am —Pole sammelt sich dabei statt des Metalles Wasserstoff an. Bei Anwendung von Glaubersalz (Na_2SO_4) z. B. bildet sich auf diese Weise Natronlauge (HNaO), indem das frei gewordene Natrium im Wasser oxydiert, wodurch ein Teil des Wasserstoffs aus dem Wasser frei wird. Da das Anhydrit sich zu Schwefelsäure ergänzt, so wird auch Sauerstoff frei. Die Zersetzungsprodukte sind demnach Wasserstoff und Natronlauge am —Pol, Sauerstoff und Schwefelsäure am +Pol. Eine mit Lackmustinktur versetzte Glaubersalzlösung färbt sich infolgedessen am +Pole rot, am —Pole blau.

Die Elektrolyse läſst erkennen, daſs Flüssigkeiten den Strom in anderer Weise leiten, als Metalle, welche beim Durchgange desselben ihre chemische Beschaffenheit nicht ändern. Mit Ausnahme des Quecksilbers (und der geschmolzenen Metalle) leiten Flüssigkeiten den Strom nur dann, wenn sie zugleich chemisch zersetzt werden; diejenigen Flüssigkeiten, welche nicht zersetzt werden, leiten den Strom auch nicht, z. B. chemisch reines Wasser, Alkohol, Öle.

Bei der Elektrolyse werden immer zwei Bestandteile abgeschieden, von denen jeder an einem bestimmten Pole auftritt. Am negativen Pole erscheinen vorzugsweise Metalle und Wasserstoff (dieselben gehen mit dem Strome).

Faraday hat durch Versuche die **elektrolytischen Gesetze** aufgefunden:

Die elektrolytische Wirkung ist der Stromstärke proportional. — Durch denselben Strom werden in gleichen Zeiten chemisch gleichwertige Mengen zersetzt.

Beispiel. Derselbe Strom, welcher aus H_2SO_4 (Versuch a) 2H ausscheidet, scheidet aus $ZnSO_4$, in welcher Verbindung 2H durch 1Zn vertreten ist, in derselben Zeit 1Zn aus. Aus $CuSO_4$ würde er 1Cu ausscheiden. Oder, da 1, 65,2 und 63,5 die Verbindungsgewichte für H, Zn und Cu sind, so würden durch denselben Strom in der gleichen Zeit 2 Gewichtsteile H, 65,2 Zn und 63,5 Cu ausgeschieden werden.

Anwendungen der Elektrolyse.

1. Auf dem ersten elektrolytischen Gesetze beruht die *Messung der Stromstärke durch Elektrolyse. — Zersetzungsapparate, welche eine genaue Bestimmung der Menge des elektrolytisch abgeschiedenen Stoffes zulassen, heiſsen* **Voltameter.** Das gebräuchlichste derselben ist das Knallgasvoltameter (von ähnlicher Einrichtung wie Fig. 494), mittelst dessen die Stromstärke durch die in einer bestimmten Zeit entwickelte Menge von Knallgas gemessen wird. Ein Strom von 1 Ampère entwickelt in 1 Minute 10,44 ccm Knallgas (§ 138). Man kann aber ebenso gut auch aus der Menge von ausgeschiedenem Kupfer oder Silber die Stromstärke bestimmen (Kupfer- und Silbervoltameter).

Im allgemeinen pflegt man jedoch zu Messungen der Stromstärke die magnetische Wirkung des Stromes vorzuziehen (Tangentenboussole, § 136).

2. Die Elektrolyse findet ferner Anwendung bei der *Herstellung eines metallischen Überzuges an irgend welchen Gegenständen* **(Galvanostegie)**, und bei der eigent-

lichen **Galvanoplastik**, d. h. *der Kunst, von Gegenständen beliebiger Form Abdrücke in Metall zu erhalten.*

Metallene Gegenstände, welche vergoldet, versilbert, vernickelt oder verzinkt werden sollen, brauchen nur sorgfältig gereinigt zu werden, um eine leitende Oberfläche zu erhalten, während alle anderen Gegenstände zunächst durch Bepinseln mit fein geschlämmtem Graphit auf ihrer Oberfläche leitend gemacht werden müssen. — Zum Zwecke der galv. Nachbildung eines Gegenstandes (Holzschnitt, Büste, Münze oder dergl.) stellt man zunächst eine sogen. Matrize her, d. h. einen Abdruck oder Abgufs des Gegenstandes in Wachs, Guttapercha, Gips oder dergl., überzieht die Matrize mit einem leitenden Überzug und setzt sie der Einwirkung des Stromes aus.

Der galv. Niederschlag kann entweder im Elemente selbst oder aufserhalb desselben in einem besonderen Gefäfse bewirkt werden. Der Thoncylinder eines galvanoplastischen Elementes (A in Fig. 496), welcher auch durch ein Glasgefäfs mit durchlässigem Boden (Tierblase, Pergamentpapier) ersetzt werden kann, enthält das Zink in verdünnter Schwefelsäure; unter dem Cylinder wird der betreffende Gegenstand am Leitungsdrahte (B) befestigt und in die Metalllösung (sogen. „Bad") eingetaucht. — Fig. 497 stellt einen Apparat der zweiten Art dar. Die Gegenstände werden in demselben an Drähten so aufgehängt, dafs sie sämtlich mit dem neg. Pole der Batterie leitend verbunden sind. Damit die Metalllösung ihre ursprüngliche Beschaffenheit möglichst lange behält, bestehen die den Gegenständen gegenüber hängenden und mit dem pos. Pole verbundenen Platten aus dem gleichen Metalle, welches in der Flüssigkeit aufgelöst ist.

Fig. 496.

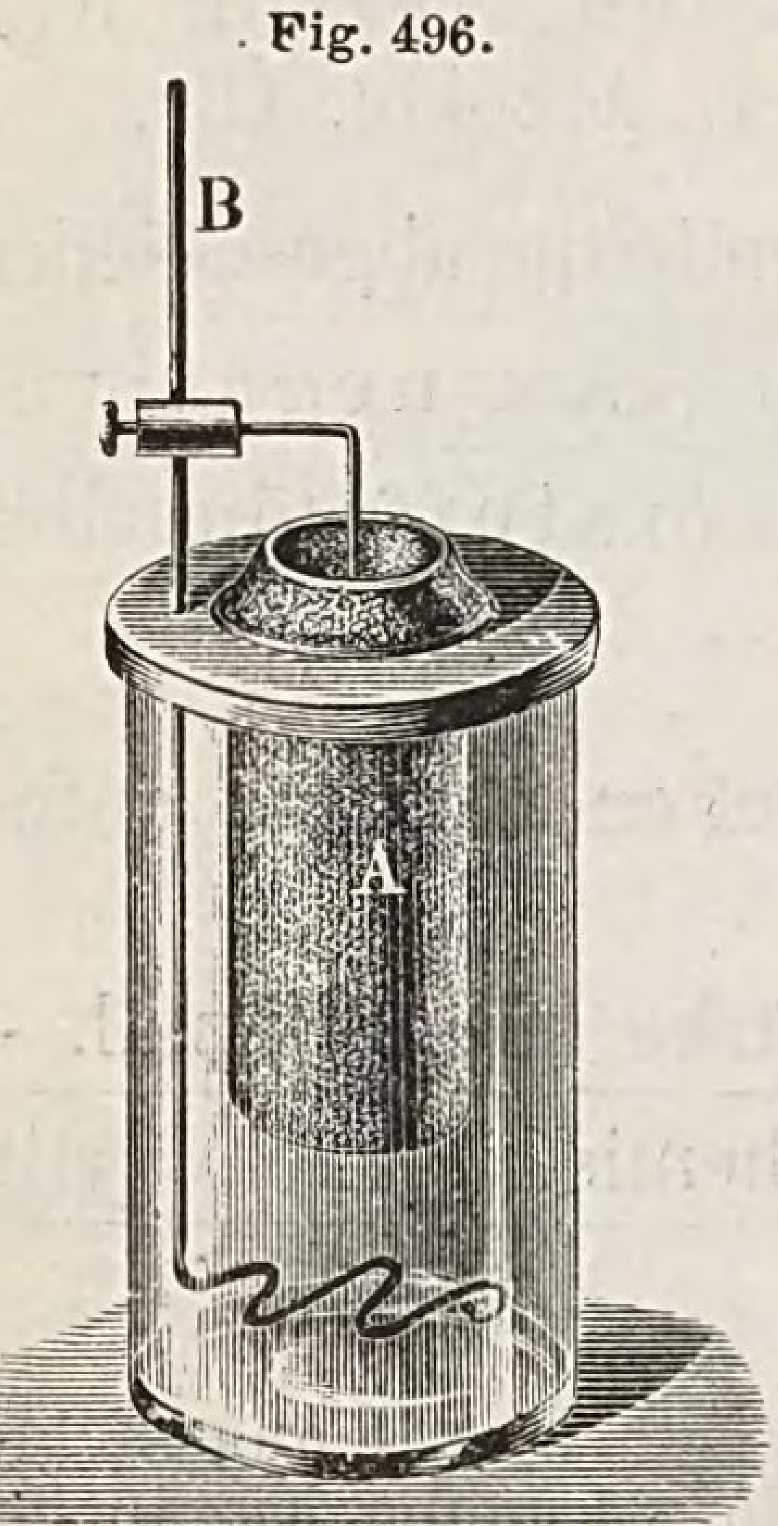
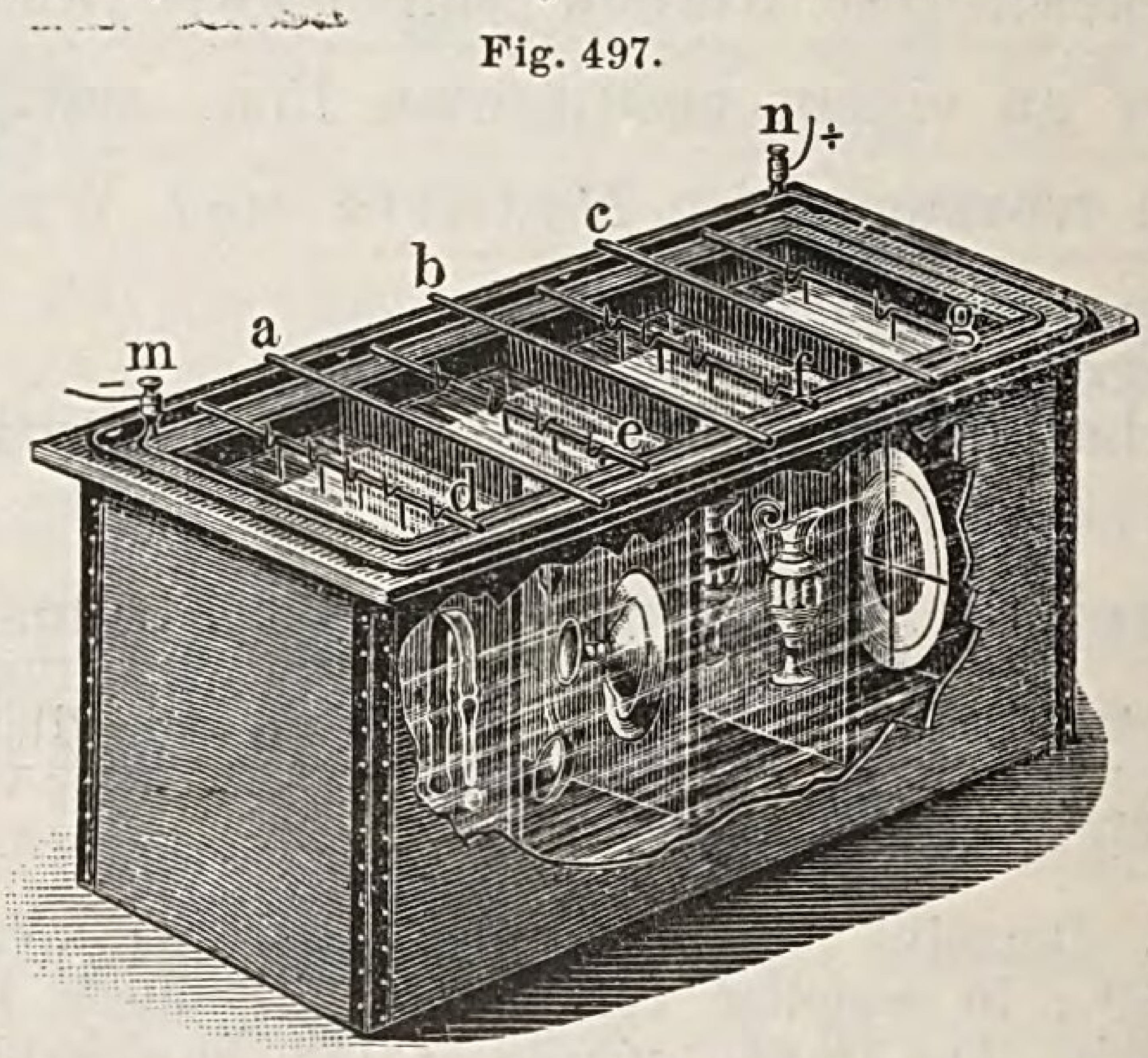


Fig. 497.



Die Galvanoplastik wurde 1839 von *Jacobi in Petersburg* und fast gleichzeitig von *Spencer in Liverpool* erfunden.

Bem. Zur Erzeugung der Ströme werden vielfach Dynamomaschinen und zwar Gleichstrommaschinen (§ 143) verwendet.

3. Eine wichtige Anwendung hat die Elektrolyse neuerdings in der Hüttenindustrie gefunden zur *Ausscheidung von reinen Metallen* aus ihren chemischen Verbindungen (**galv. Metallurgie**). Auf diese Weise wird besonders Kupfer, Magnesium und Aluminium gewonnen.

Polarisation. Wird bei der Wasserzersetzung der galv. Strom unterbrochen und aufserhalb der Flüssigkeit eine leitende Verbindung zwischen den beiden Platinplatten hergestellt, so zeigt ein in den Schliefsungsbogen eingeschaltetes Galvanoskop einen Strom an, welcher dem ursprüng-

lichen Strome entgegengesetzt gerichtet ist. Derselbe dauert solange an, bis die beiden an den Platinplatten angesammelten Gase wieder in ihre chemische Verbindung (Wasser) übergegangen sind. Während dieses Vorganges verhalten sich die Platten des Zersetzungsapparates wie die Pole eines galv. Elementes; man bezeichnet dieselben deshalb als polarisiert und den entstehenden Strom als Polarisationsstrom. Da in jedem Element eine elektrolytische Zersetzung der Flüssigkeit stattfindet und somit ein Polarisationsstrom entsteht, welcher dem Hauptstrom entgegengesetzt wirkt und ihn mithin schwächt, so sucht man durch die Anwendung verschiedener Flüssigkeiten die Polarisation möglichst zu beseitigen (Konstante Elemente, § 136).

Infolge der Polarisation ist auch das Ohmsche Gesetz auf Flüssigkeiten nicht ohne weiteres anwendbar, da bei Bestimmung der Stromstärke aufser der elektromotorischen Kraft und dem Widerstand noch die Polarisation in Betracht zu ziehen ist.

Akkumulatoren. Wenn man Bleiplatten polarisiert, indem man sie in verdünnte Schwefelsäure bringt und eine Zeit lang einen Strom hindurchsendet, so geben sie nach Unterbrechung des Stromes beim Verbinden durch einen Leiter selbständig einen Strom ab. Man kann somit aus polarisierten Plattenpaaren Elemente herstellen, welche zur Erzeugung eines Stromes geeignet sind. Elemente dieser Art unterscheiden sich von den übrigen wesentlich dadurch, dafs sie erst durch einen galv. Strom geladen werden müssen. Sie werden daher sekundäre Elemente genannt. Da in denselben E. zu späterer Verwendung gleichsam aufgespeichert werden kann, bezeichnet man sie als Akkumulatoren (Kraftsammler).

Zu Akkumulatoren sind Bleiplatten, welche in verdünnte Schwefelsäure getaucht werden, besonders geeignet. Wird durch einen solchen Akkumulator längere Zeit ein el. Strom geleitet, so entwickelt sich an der pos. Platte Sauerstoff, welcher das Blei teilweise zu Bleiüberoxyd (PbO_2), d. h. zu einer mit Sauerstoff übersättigten Bleiverbindung oxydiert, die an der Platte als brauner Überzug haftet; an der neg. Platte hingegen tritt Wasserstoff auf. Da dieser sich wieder mit Sauerstoff zu verbinden strebt, so reinigt er die Platte von allem bereits daran haftendem Oxyd. Um die der pos. Platte anhaftende Schicht zu verstärken und den Akkumulator zu einer Stromquelle von längerer Dauer zu machen, wendet man ein von *Planté* (1879) erfundenes Verfahren der Ladung („Formierung") an. Ein so behandelter Akkumulator erzeugt, wenn man die Bleiplatten durch einen Leitungsdraht verbindet, noch lange nach seiner Ladung einen Strom, welcher kräftigere Wirkungen hervorzubringen vermag als der ursprüngliche Strom, und solange anhält, bis das ganze Überoxyd seinen überschüssigen Sauerstoff wieder abgegeben und sich auf beiden Platten Bleioxyd (Bleiglätte, PbO) gebildet hat. Da die Herstellung eines Akkumulators nach dem Planté-Verfahren mehrere Jahre dauert, so werden beide Bleiplatten mit Mennige (Pb_3O_4) überzogen. Läfst man dann den Strom hindurchgehen, so wird der Überzug der pos. Platte durch Aufnahme von Sauerstoff zu Bleiüberoxyd (PbO_2) oxydiert, der Überzug der neg. Platte hingegen durch Abgabe von Sauerstoff zu Blei in schwammartig aufgelockerter Form („Bleischwamm") reduziert.

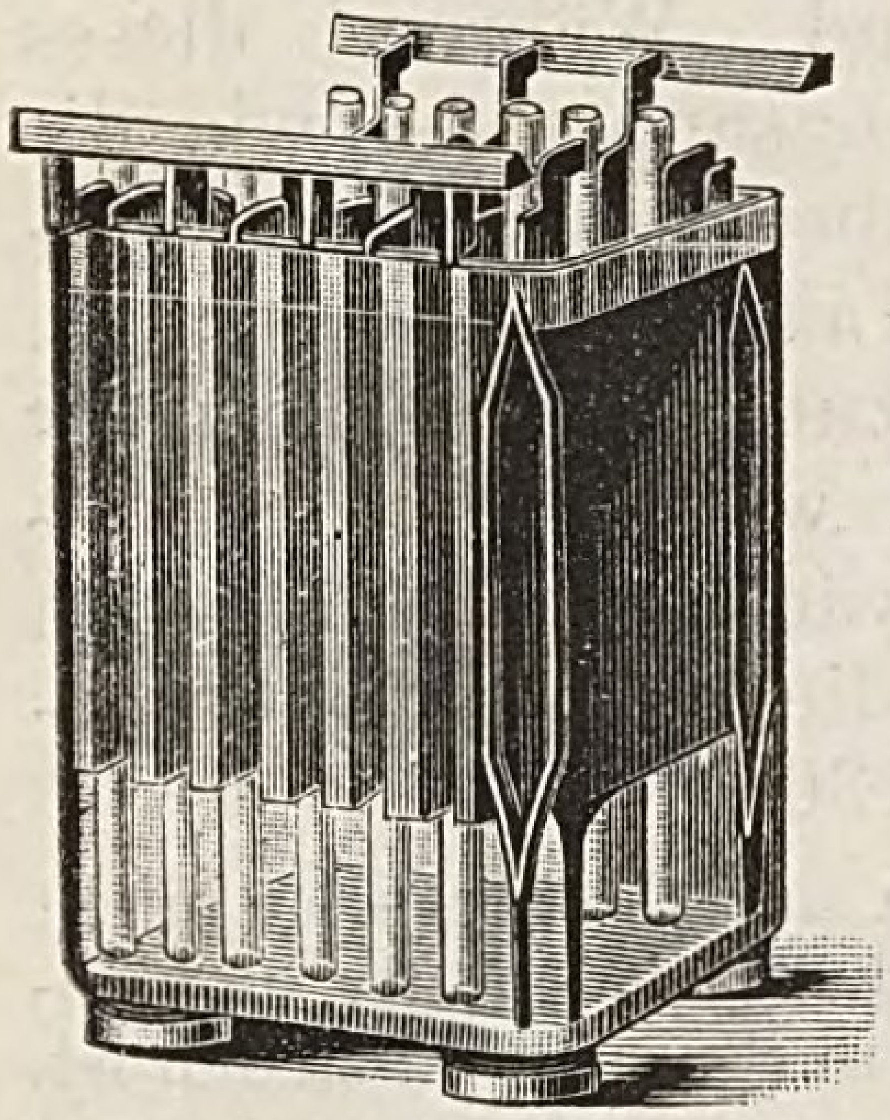
Dieses Verfahren wurde von *Faure* erfunden, ist jedoch neuerdings noch verbessert worden, z. B. durch das *Tudor*-Verfahren.

Fig. 498*) (folg. Seite) zeigt einen aus 3 pos. und 4 neg. Platten bestehenden Tudor-Akkumulator in Glasgefäfs. Die pos. Platten sowohl als die neg. Platten sind durch

*) Das zur Herstellung gebrauchte Cliché wurde von der Akkumulatorenfabrik Hagen in Westf., welche die Tudor-Akkumulatoren anfertigt, freundlichst zur Verfügung gestellt.

eine Bleileiste verbunden und werden durch die zwischen ihnen befindlichen Glasröhren in den geeigneten Abständen erhalten.

Fig. 498.



Die Akkumulatoren haben bereits zu verschiedenen Zwecken wichtige Anwendung gefunden (bei der el. Beleuchtung, Galvanoplastik, Telegraphie), insbesondere sind sie das einzige Mittel zum bequemen Transport el. Kraft ohne Leitung (el. Eisenbahn).

Übungsstoff. 1. Zweck der Metallplatten an den Poldrähten bei Versuch a und b? — 2. Die Röhre (Fig. 495) sei mit einer durch Lackmus gefärbten Kochsalzlösung gefüllt. Welche Vorgänge werden dann durch den Strom veranlafst? — 3. Stellt man einen Zinkstab in eine Lösung von Bleizucker (1 Teil Bleizucker oder essigsaures Bleioxyd, 1 Teil Essigsäure und ungefähr 40 Teile W.), so scheidet sich Blei in Blattform ab (Blei- oder Saturnusbaum). Die erste Ausscheidung des Bleies wird durch die gröfsere chemische Verwandtschaft des Zinks bewirkt. Wie läfst sich der Vorgang weiter erklären? — 4. Erkläre die Ersch., dafs sich auf blankem Eisen Kupfer niederschlägt, wenn man es in eine Lösung von Kupfervitriol hält. — 5. Die Abbildungen dieses Buches sind mittelst Kupferplatten (Clichés) gedruckt, welche nach Holzschnitten auf galv. Wege hergestellt werden. Welchen Vorteil bietet dieses Verfahren dem früheren Verfahren gegenüber, bei welchem man die Holzschnitte selbst zum Druck benutzte? — 6. Die beim Aufziehen einer Uhr geleistete mechanische Arbeit ist als Spannkraft gleichsam aufgespeichert und kommt allmählich wieder zur Wirkung. Vergl. diese Wirkung mit der eines Akkumulators! — 7. Inwiefern haben die Akkumulatoren einer el. Beleuchtungsanlage vergleichsweise dieselbe Aufgabe wie das Gasometer einer Gasanstalt oder das Reservoir einer Wasserleitung?

b. Wirkungen aufserhalb der Strombahn.

§ 140. Elektromagnetismus. Elektrodynamik. Ampères Theorie.

1. Magnetische Wirkungen. Die magnetischen Wirkungen des galvanischen Stromes sind, wie aus früheren Versuchen hervorgeht (§ 134, b und c.), zweifacher Art: 1. Eine Magnetnadel wird von ihrer Richtung abgelenkt; 2. ein Eisenstab, welchen der Strom in Windungen umkreist, wird magnetisiert.

Der durch den el. Strom erregte Magnetismus wird **Elektromagnetismus** *genannt. Ein durch den Strom magnetisierter Eisenstab heifst* **Elektromagnet.**

Die wichtige Anwendung, welche die Ablenkung der Magnetnadel in den Apparaten zur Messung der Stromstärke findet, wurde in § 136 erörtert. Mit Hilfe der *Ampèreschen Regel (Schwimmerregel),* welche die Richtung der Ablenkung angiebt, lassen sich die Pole eines durch den el. Strom magnetisierten Eisenstabes in folgender Weise bestimmen:

Denkt man sich in den Drahtwindungen in der Richtung des + Stromes schwimmend, das Gesicht dem Magnetstabe zugewendet, so ist das zur Linken liegende Ende des Stabes ein Nordpol (Fig. 499, folg. Seite).

Der Südpol wird demnach vom +Strom in einer Richtung umkreist, die der des Uhrzeigers entspricht (Fig. 500), der Nordpol dagegen in entgegengesetzter Richtung (*„Zeigerstrom“* und *„Gegenzeigerstrom“*).

Fig. 499.

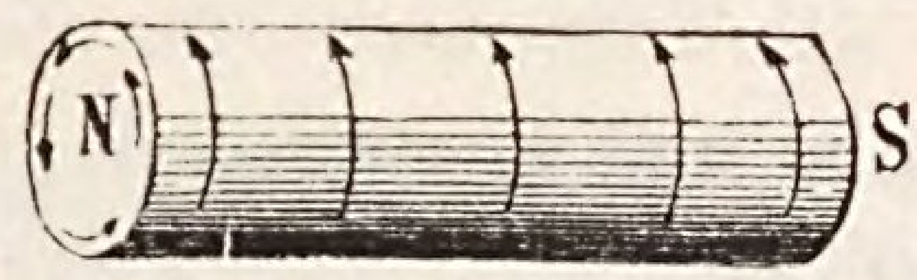
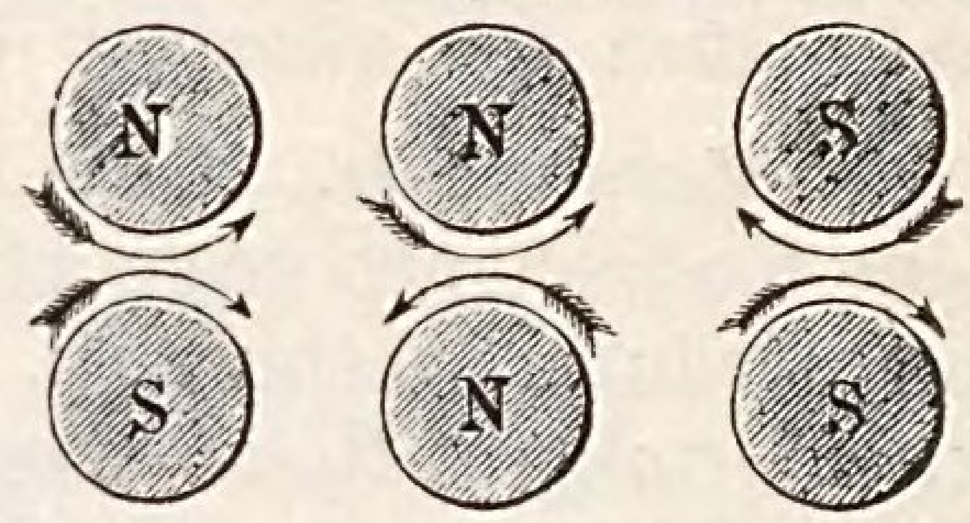


Fig. 500.



Der durch el. Ströme hervorgerufene Magnetismus übertrifft an Stärke bei weitem den durch die kräftigsten Stahlmagnete erregten. Um einen Stahlstab durch den el. Strom möglichst stark magnetisch zu machen, schiebt man ihn in einer mit isoliertem Kupferdraht umwickelten Holzspule, in deren Windungen der Strom kreist, wiederholt hin und her und unterbricht schliefslich den Strom, wenn der Stab in der Mitte liegt, oder man magnetisiert den Stab durch den einfachen Strich mittelst eines starken Elektromagnets. Hufeisenförmige Stahlstäbe lassen sich auch dadurch stark magnetisieren, dafs man ihre beiden Enden mit den Magnetpolen eines ebenso gestalteten Elektromagnets, in dessen Drahtwindungen ein kräftiger Strom fliefst, auf kurze Zeit in Berührung bringt und sie erst nach Unterbrechung des Stromes wieder entfernt.

Die magnetisierende Wirkung des el. Stromes wird erklärlich, wenn man sich vorstellt, dafs die Massenteilchen (Moleküle) des gewöhnlichen Eisens bereits Magnete bilden, welche indes unregelmäfsig gelagert sind und erst durch den Strom eine bestimmte Richtung erhalten. Sie werden nach der Ampèreschen Regel so gedreht, dafs sich ihre Achsen senkrecht zur Ebene der Drahtwindungen, also parallel zur Achse des Eisenstabes richten und zwar alle Nordpole nach links (vergl. auch Fig. 473). Wenn sämtliche Molekularmagnete diese Richtung angenommen haben, so ist die „Sättigung“ erreicht, d. h. der Magnetismus läfst sich nicht weiter steigern. So lange der Eisenkern noch weit von seinem Sättigungspunkte entfernt ist, ist die Stärke des Magnetismus der Anzahl der Drahtwindungen und der Stromstärke proportional; dagegen ist dieselbe von der Dicke und dem Stoffe des Leitungsdrahtes überhaupt unabhängig. Um einen Eisenkern bis zur Sättigung zu magnetisieren, hat der Strom eine gewisse, allerdings nur sehr kurze Zeit nötig.

In weichem Eisen verschwindet der Magnetismus fast ganz wieder, sobald der Strom zu wirken aufhört, ähnlich wie beim Annähern und Entfernen eines Magnetpoles. Stahlstäbe behalten nach der Unterbrechung des Stromes einen stärkeren Magnetismus. Diese Verschiedenheit, die Eisen und Stahl beim Magnetisieren zeigen *(Koercitivkraft)*, läfst sich auf den festeren Zusammenhang der Moleküle des Stahles zurückführen.

Mit dem Magnetisieren und Entmagnetisieren findet im weichen Eisen wie im Stahl eine Wärmeentwickelung statt, die man sich durch eine mit der Drehung der Moleküle verbundene innere Reibung erklären kann; sie ist unmerklich, wenn der Strom nur einmal geschlossen wird, steigert sich aber bei rascher Wiederholung dieses Vorganges so bedeutend, dafs schliefslich der Eisenkern sich stark erhitzt. Die Wirkung der el. Maschinen wird durch diesen Umstand sehr beeinträchtigt (§ 143).

Magnetisches Feld eines Stromes. Solenoid.

Versuch a. Einen senkrecht gehaltenen Draht, durch den man einen starken Strom leitet, steckt man durch ein horizontal liegendes Kartenblatt, auf welches man feine Eisenfeilspäne siebt. Dieselben werden durch den Einflufs des Stromes zu kleinen Elektromagneten und ordnen sich ringförmig um den Draht.

Der Strom erzeugt somit in seiner Umgebung ein magnetisches Feld, dessen Kraftlinien den Stromleiter ringförmig umschliefsen.

Biegt man den Schliefsungsdraht einer Batterie zu einer Schlinge um, so nimmt der ganze Raum, den die Schlinge umschliefst, magnetische Eigenschaften an. Ein in denselben gebrachter Magnet wird von dem Stromkreis angezogen oder abgestofsen und wirkt auf ihn selbst anziehend oder abstofsend.

Versuch b. Eine Zink- und Kupferplatte werden senkrecht durch eine Korkscheibe gesteckt und ihre oberen Enden durch einen umsponnenen Kupferdraht verbunden, den man in mehreren Windungen zu einer kreisförmigen Rolle biegt. Läfst man die Korkplatte auf verdünnter Schwefelsäure schwimmen, so wird bei Annäherung eines Magnetpoles der Schliefsungsbogen entweder angezogen oder abgestofsen *(De la Rives Schwimmer)*.

Eine in Form einer Spirale gewundene Drahtrolle, welche von einem Strom durchflossen wird, verhält sich wie ein Magnet.

Die magnetischen Wirkungen einer solchen Spirale, die man ein *Solenoïd*[1]) nennt, sind weniger kräftig, wie die eines Elektromagnets.

Ein Eisenstab wird bei der Annäherung an ein Solenoid ein Elektromagnet und zwar wird er in die Spirale hineingezogen, da sein genähertes Ende den ungleichnamigen Magnetismus annimmt. Diese Erscheinungen sind leicht verständlich, wenn man sich vorstellt, dafs das Solenoid von gleich gerichteten kreisförmigen Strömen durchflossen wird, welche dieselbe Wirkung haben müssen, wie ebenso viele kleine gleich gerichtete Magnete.

Die Übereinstimmung zwischen einem Solenoid und einem Magnet tritt noch deutlicher hervor, wenn man dasselbe wie eine Magnetnadel frei beweglich aufhängt (Fig. 501) und einen kräftigen Strom hindurchfliefsen läfst; dann stellt sich der Schraubendraht unter dem Einflufs des Erdmagnetismus in die NS.-Richtung, wobei er nach dem durch Fig. 499 veranschaulichten Gesetze polarisiert erscheint, und wird von einem genäherten Magnet angezogen oder abgestofsen. Zur Aufhängung der Solenoide und anderer kreisförmig oder rechtwinklig gebogener Stromleiter bedient man sich der *Ampèreschen Gestelle* (Fig. 502): die Stromleiter stehen auf 2 Stahlspitzen in stählernen und mit Quecksilber gefüllten Näpfchen, welche von Messingsäulen getragen werden, die mit der Batterie leitend verbunden sind.

Fig. 501.

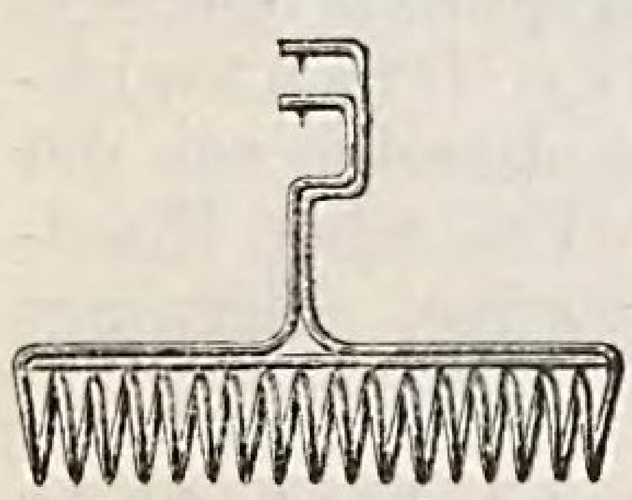
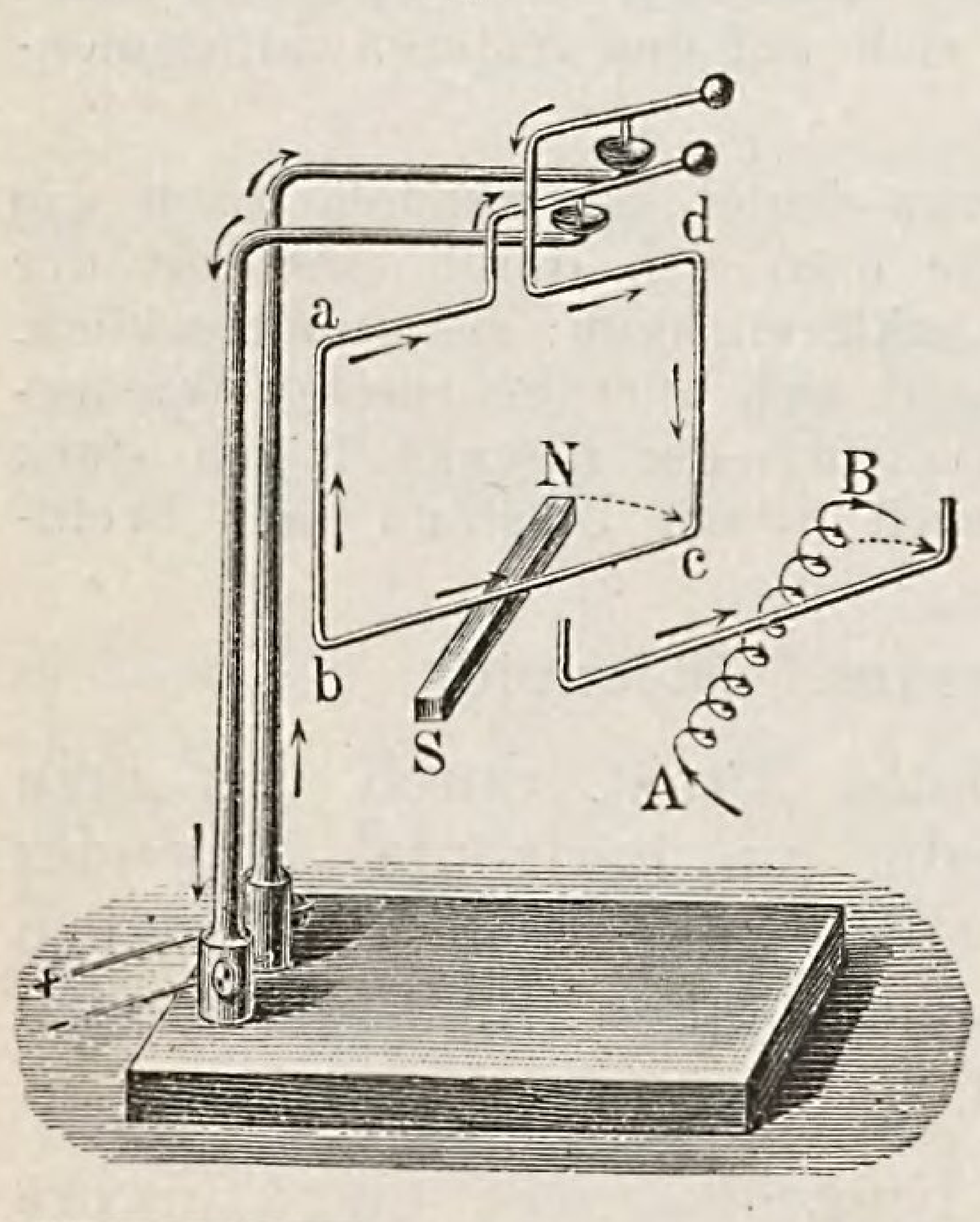


Fig. 502.



Versuch c. Bringt man einen Magnet in die Nähe eines vom Strome durchflossenen Drahtvierecks, so stellt sich letzteres in eine bestimmte Lage und zwar immer so, dafs seine Ebene senkrecht zur Achse des Magnets gerichtet ist. Der drehbare Stromleiter wird also durch die Einwirkung eines Magnets ebenso abgelenkt, wie eine Magnetnadel durch einen Stromkreis.

[1]) σωλήν (sōlēn), Röhre.

In Fig. 502 ist die Richtung des +Stromes durch Pfeile bezeichnet; die punktierten Linien geben die Bewegung des Drahtvierecks an. Wird der Magnet (SN) durch ein Solenoid (AB) ersetzt, so erfolgt ebenfalls eine Drehung des Stromleiters.

2. Elektrodynamische Wirkungen. Da ein Solenoid sich ganz wie ein Magnet verhält, so liegt die Vermutung nahe, dafs auch zwei Solenoide in Bezug auf Anziehung und Abstofsung aufeinander einwirken müssen wie zwei Magnete. Diese Vermutung wurde von *Ampère* (1820) durch Experimente bestätigt. Er stellte fest, dafs überhaupt jeder galv. Strom auf einen benachbarten Strom anziehend oder abstofsend einwirkt und führte für die Lehre von den Wechselwirkungen galv. Ströme untereinander die Bezeichnung **Elektrodynamik** ein.

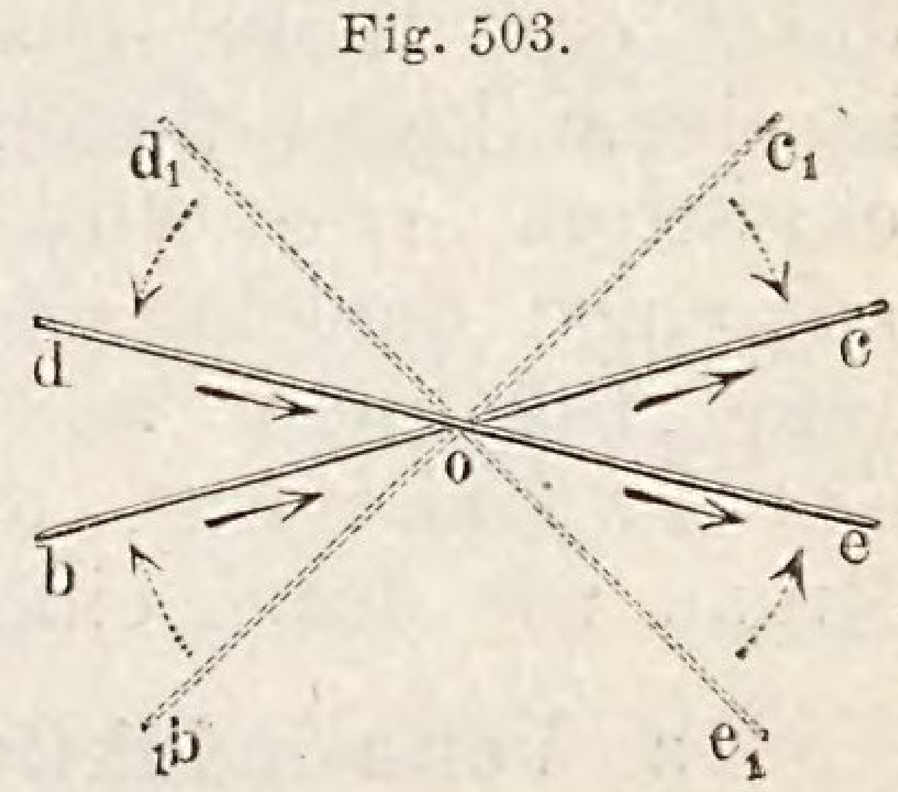
Ampère entdeckte folgende Gesetze:

1. Parallele Ströme ziehen sich an, wenn sie gleich gerichtet, sie stofsen sich ab, wenn sie entgegengesetzt gerichtet sind.

Dieses Gesetz gilt auch, wenn die parallelen Stromleiter Teile eines und desselben Stromkreises sind, z. B. Windungen einer Spirale (Übungsstoff, Fr. 7).

2. Ströme, die sich unter einem Winkel kreuzen, streben sich so zu stellen, dafs sie parallel und gleich gerichtet sind.

Fig. 503.



Zwischen Strömen, die gleichzeitig nach der Kreuzungsstelle hin- oder von ihr wegfliefsen, findet demnach ebenfalls Anziehung statt (Fig. 503); zwischen entgegengesetzt gerichteten dagegen Abstofsung.

Durch die Übereinstimmung zwischen dem Verhalten eines Solenoids und dem eines Magnets wurde *Ampère* zu einer **Theorie des Magnetismus** geführt. Er erklärt die magnetischen Wirkungen durch die elektrodynamischen Wirkungen von Strömen, die im Innern der Körper stattfinden (Molekularströme).

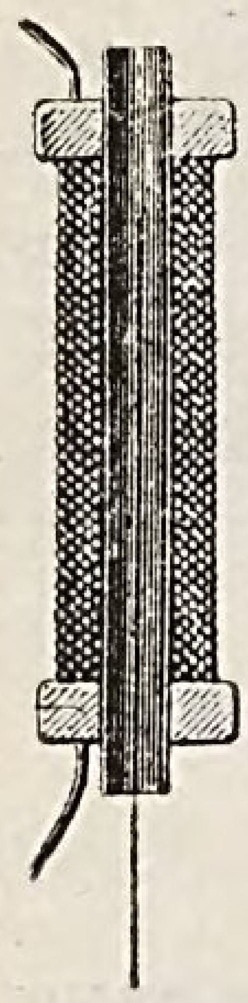
Ampère stellt sich einen Magnet als einen Körper vor, dessen Moleküle von el. Strömen umflossen werden; aus der gegenseitigen Einwirkung dieser Molekularströme erklärt er alle magnetischen Erscheinungen. Während im unmagnetischen Eisen die Moleküle regellos durcheinanderliegen und die Molekularströme sich deshalb in ihren Wirkungen nach aufsen gegenseitig aufheben, erhalten sie durch das Magnetisieren eine parallele Lage und gleiche Richtung; ihre Ebenen stehen dann zur Achse des Magnets senkrecht und sie bewegen sich in denselben bei Betrachtung des Südpols in der Uhrzeigerrichtung. (Der Einfachheit wegen kann man sich einen einzigen Strom als Mittelkraft denken, Fig. 499 und 500).

Die Ampèresche Theorie bietet nicht nur eine einfache Erklärung der gegenseitigen Einwirkung von Strömen und Magneten, sondern auch einen Ausgangspunkt für die Lehre von der Einheit der Naturkräfte (§ 147).

Übungsstoff. 1. Wie läfst sich aus der Richtung, in der eine Magnetnadel durch den Strom abgelenkt wird, sowie aus der Lage der Pole eines Elektromagnets ein Rückschlufs auf die Richtung des Stromes machen, welcher die Wirkung hervorrief? — 2. Hält man unter ein Blatt Papier den Schliefsungsdraht einer galv. Batterie und streut da, wo der Draht liegt, Eisenfeilspäne auf das Papier, so richten sich diese quer zum Drahte. Erkl.! — 3. Wird eine Glasröhre mit um-

sponnenem Kupferdraht bewickelt (Fig. 504) und durch letzteren ein Strom geleitet, so vermag ein kurzer Eisendraht frei in der Röhre zu schweben. Wie wirkt der Strom auf das Eisenein? (Prinzip der in der Elektrotechnik gebräuchlichen Mefsapparate für die Stromstärke: *Ampèremeter*). — **4.** Warum läfst sich die Stärke eines Elektromagnets nicht über eine gewisse Grenze hinaus steigern? — **5.** Inwiefern unterscheiden sich „magnetische Stärke" und „Tragkraft" eines Elektromagnets? — **6.** Wie erklärt sich die Ersch., dafs an einem kupfernen, in Eisenfeilspäne gehaltenen Draht die Späne anhaften, so lange man einen Strom durch den Draht leitet? (Versuch von *Arago;* vergl. Versuch a.) — **7.** Eine Spirale aus dünnem Kupferdraht sei mit einem Ende an einem metallenen Ständer so aufgehängt, dafs das andere Ende in ein mit Qu. gefülltes Näpfchen taucht. Wenn man dann die Poldrähte einer galv. Batterie mit dem Ständer und dem Näpfchen verbindet, so zieht sich die Spirale zunächst zusammen; sobald das untere Ende nicht mehr eintaucht, dehnt sie sich wieder aus, darauf zieht sie sich abermals zusammen u. s. w. Wie erklärt sich diese Ersch.? *(Rogets Spirale.)* — **8.** Welche Erschn. treten ein, wenn man eine Deklinationsnadel über ein Solenoid der Länge nach fortbewegt? — **9.** Erkläre die einzelnen magnetischen Erschn. durch die Ampèresche Theorie! — **10.** In welcher Richtung mufs nach der Ampèreschen Theorie die Erde von el. Strömen umkreist werden?

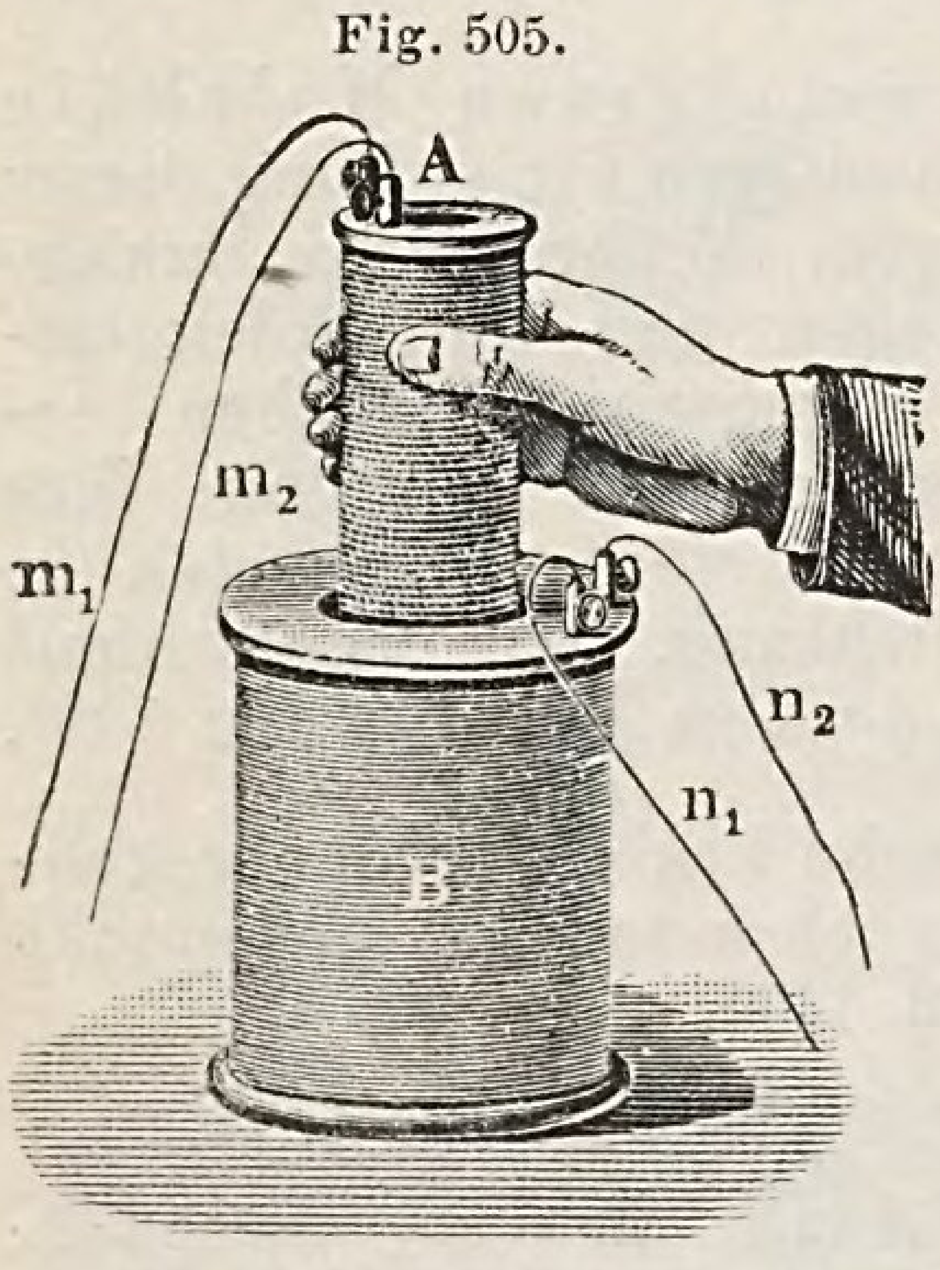
Fig. 504.



§ 141. Induktion. Die Induktionswirkungen des galv. Stromes wurden von *Faraday* (1831) entdeckt. Er ging bei seinen Folgerungen von den Erscheinungen der el. Influenz aus und fand durch eine Reihe scharfsinniger Versuche, dafs durch einen Strom, der in einem Leiter fliefst, in einem anderen benachbarten Leiter ebenfalls ein Strom erregt wird, ebenso wie ein el. geladener Körper influenzierend auf einen unelektrischen Leiter einwirkt. *Faraday* nannte diesen Vorgang „Induktion" und unterschied „Volta-Induktion" und „Magnet-Induktion", da sich Induktionswirkungen sowohl durch einen Strom, wie durch einen Magnet hervorbringen lassen.

a. Volta-Induktion. Versuch. 1) *Annähern und Entfernen des Stromes.* Ein zum Nachweis geeigneter Apparat besteht aus 2 Holzspulen (Fig. 505), von denen die engere (A) mit einem ziemlich dicken, die weitere (B) mit einem sehr dünnen und wenigstens 100 m langen isolierten Kupferdraht umwickelt ist; die Enden des dünnen Drahtes (n_1 und n_2) werden mit einem sehr empfindlichen Galvanoskope, die des dicken Drahtes (m_1 und m_2) mit den Polen eines galv. Elementes leitend verbunden. Schiebt man nun die vom Strom umflossene Spule A rasch in die Spule B, so erhält man einen Ausschlag der Nadel des Galvanoskopes, welcher aber nur sehr kurze Zeit andauert. Zieht man darauf die Spule A wieder heraus, so entsteht abermals ein Ausschlag, aber nach der entgegengesetzen Seite. 2) *Schliefsen und Öffnen des Stromes.* Die angegebene Wirkung erfolgt auch, wenn man den Strom des Elementes schliefst und unterbricht, während die Spulen ineinander stecken.

Fig. 505.



Wird ein in sich geschlossener Leiter einem el. Strome genähert oder von ihm entfernt, oder wird ohne Änderung der Lage des Leiters der Strom geschlossen oder geöffnet, so entsteht im Leiter ein Strom von kurzer Dauer: **Volta-Induktion.**

Induktionsströme, welche durch *Öffnen* und *Schliefsen* des Hauptstromes hervorgerufen werden, sind stets von unmefsbar kurzer Dauer, während ihre Dauer bei *Annäherung* und *Entfernung* des Leiters von der Dauer dieser Bewegung abhängig ist. Auch durch blofse *Veränderung der Stärke* des Hauptstromes werden in einem benachbarten Leiter Induktionsströme erzeugt, deren Stärke und Dauer von der Gröfse jener Veränderungen abhängt.

An der Ablenkung der Galvanometernadel erkennt man, dafs der bei Annäherung der Spule oder beim Schliefsen oder Verstärken des Hauptstromes entstehende Induktionsstrom eine dem Hauptstrom entgegengesetzte Richtung hat, während der beim Entfernen der Spule oder beim Öffnen oder Schwächen des Stromes entstehende mit dem Hauptstrom gleich gerichtet ist.

Um durch schnelle Unterbrechung und Schliefsung des Hauptstromes Induktionsströme in rascher Aufeinanderfolge hervorzubringen, bedient man sich besonderer Unterbrechungsvorrichtungen, z. B. des *Wagnerschen Hammers* (Seite 374).

Durch geeignete Versuche läfst sich nachweisen, dafs auch in den Drahtwindungen des Hauptstromes selbst beim Schliefsen und Öffnen desselben Induktionsströme, sogen. **Extraströme,** entstehen, indem jede Windung auf die benachbarten Windungen induzierend einwirkt. Da der Schliefsungsextrastrom dem Hauptstrome entgegengesetzt, der Öffnungsextrastrom ihm aber gleich gerichtet ist, so mufs ersterer den Hauptstrom schwächen, letzterer ihn dagegen verstärken. Die Verstärkung giebt sich durch den gröfseren Öffnungsfunken zu erkennen (bei f, Fig. 506; siehe ferner Frage 7).

b. Magnet-Induktion. Versuch. Schiebt man statt der Drahtrolle (A) einen Stabmagnet in die Induktionsspule (B) und zieht ihn wieder heraus, oder nähert man den Magnetpol dem einen Ende eines in die Spule gesteckten Eisenkerns bis zur Berührung und entfernt ihn wieder, so erhält man Wirkungen, wie die durch den galv. Strom hervorgebrachten.

Ein Magnet vermag wie ein el. Strom in einem geschlossenen Elektricitätsleiter Induktionsströme hervorzurufen: **Magnet-Induktion.**

Jede Änderung im Zustande eines magnetischen Feldes, gleichviel ob dasselbe durch eine vom Strom durchflossene Drahtrolle oder durch einen Magnet erzeugt wird, ruft nach diesen Erscheinungen Induktionsströme hervor. Durch Magnete werden Ströme induziert nicht nur bei Bewegung des Magnets, sondern auch bei Bewegung des geschlossenen Leiters im magnetischen Felde.

Die durch Magnetinduktion, insbesondere durch Bewegung eines Leiters im magnetischen Felde erzeugten Ströme haben bei der Konstruktion der magnetelektrischen Maschinen (§ 143) eine äufserst wichtige Anwendung gefunden. Da nach der *Ampèreschen Theorie* ein Magnet von gleich gerichteten Molekularströmen umkreist wird und sich also wie eine von einem Strome durchflossene Drahtspule verhalten mufs, so ergiebt sich aus der Richtung dieser Molekularströme sofort die der Induktionsströme: bei Annäherung eines Südpoles haben die Induktionsströme die der Uhrzeigerrichtung entgegengesetzte Richtung, bei Annäherung eines Nordpols dagegen die gleiche Richtung. (Bei Entfernung eines Südpoles oder eines Nordpoles ändern sich die Stromrichtungen.)

Indem man das *Ampèresche Gesetz* über die gegenseitige Einwirkung paralleler Ströme von gleicher oder entgegensetzter Richtung zu Hilfe nimmt, läfst sich eine einfache Regel über die Richtung der Induktionsströme in diesen verschiedenen Fällen in folgender Form aussprechen:

Die durch Bewegung von Stromleitern oder Magnetpolen erzeugten Induktionsströme haben stets eine solche Richtung, dafs die elektrodynamischen Anziehungs- oder Abstofsungskräfte auf die Bewegung hemmend einwirken: **Gesetz von Lenz** (1834).

Aufser dem *Lenzschen Gesetz* dient zur Bestimmung der Richtung der Induktionsströme auch die von *Faraday* angegebene Regel: Man denkt sich mit den Kraftlinien schwimmend, mit dem Gesicht nach der Bewegung des Leiters gewendet, so fliefst der Induktionstrom nach rechts.

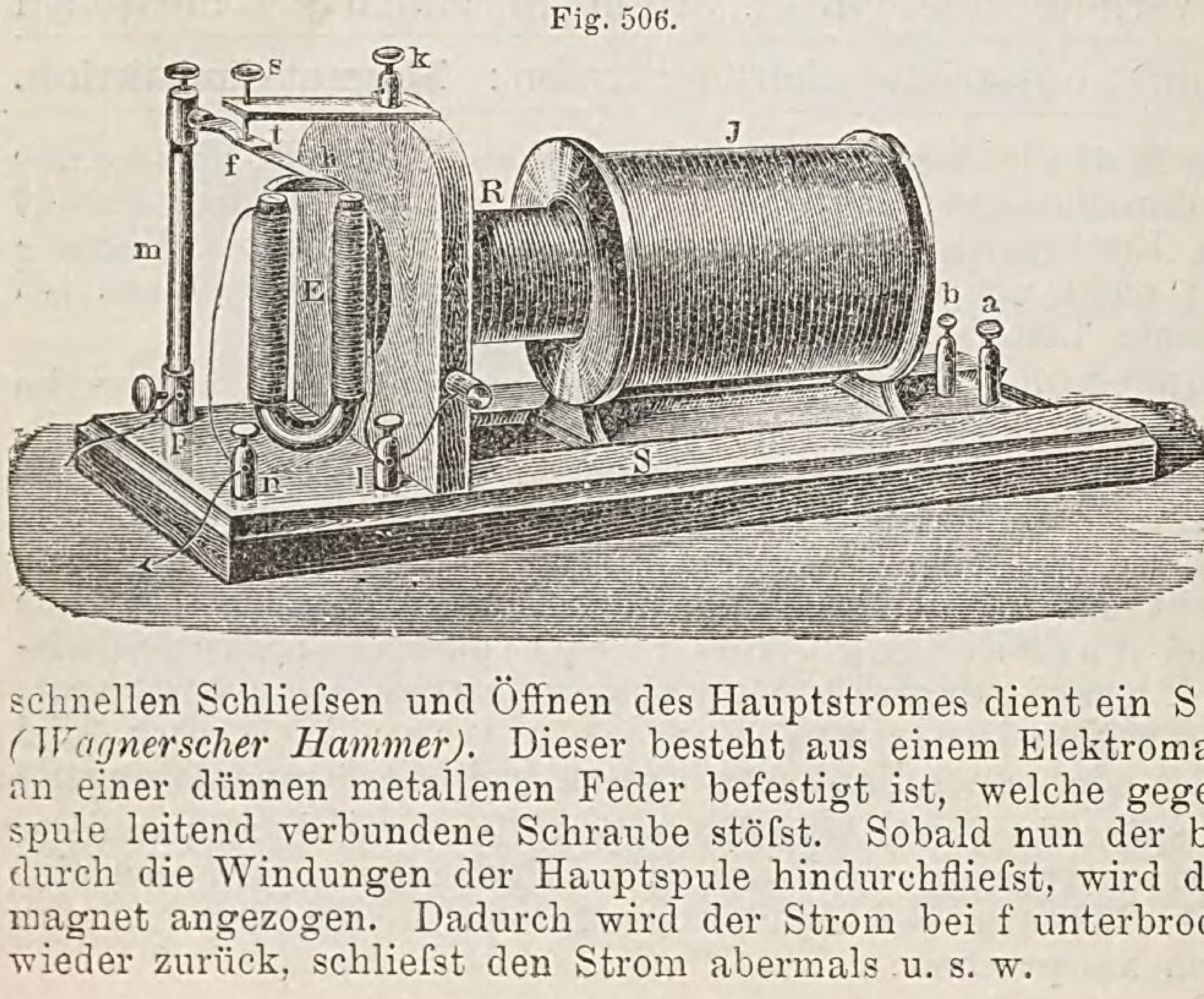
Wirkungen der Induktionsströme. Durch Induktionsströme lassen sich nicht nur alle Wirkungen der Batterieströme, sondern auch, da sie eine weit gröfsere Spannung als die letzteren haben, die Erscheinungen der Reibungs-E. hervorrufen. Induktionsströme vereinigen überhaupt die Eigenschaften beider Elektricitäten in sich und zeichnen sich namentlich durch physiologische und mechanische, sowie durch Licht- und Wärmewirkungen aus.

Die physiologischen Wirkungen der Induktionsströme sind so kräftig, dafs sie leicht zum Nachweis der Induktionselektricität benutzt werden können. Befestigt man z. B. an den Drahtenden der Induktionsspule metallene Handgriffe, so empfindet man bei Berührung Zuckungen in den Handgelenken, welche beim Öffnen des Stromes (infolge des Extrastromes) am stärksten und überhaupt um so kräftiger sind, je schneller die Stromunterbrechungen aufeinanderfolgen.

Ein gleichmäfsig andauernder Batteriestrom von mäfsiger Stärke wirkt auf unsere Nerven nicht merklich ein, so dafs er nur im Augenblicke des Entstehens oder Verschwindens oder bei einer Veränderung der Stromstärke empfunden wird. Die Induktionsströme sind an sich von sehr kurzer Dauer und da sie durch geeignete Stromunterbrecher in schneller Aufeinanderfolge hervorgerufen werden können, wirken sie sehr stark auf die Nerven ein. Es erhöht die Wirkung, wenn in der Höhlung der Hauptspule ein Stab aus weichem Eisen oder noch besser ein Bündel isolierter (gefirnifster) Eisendrähte steckt. Im Augenblicke des Schliefsens nämlich wird das Eisen magnetisch und wirkt — wie aus den Versuchen unter b hervorgeht — ebenso wie der Hauptstrom. Beim Öffnen des Hauptstromes verschwindet mit diesem auch der Magnetismus des Eisens wieder.

Wegen ihrer Einwirkung auf die Nerven werden die Induktionsströme zu Heilzwecken verwendet. Die Induktionsapparate, deren man sich für diese Zwecke gewöhnlich bedient (*Schlittenapparat von Du Bois-Reymond*, Fig. 506), sind meist so eingerichtet, dafs die Induktionsspule (J) zur Regulierung der Stärke des Induktionsstromes über die Hauptspule (R) hinweggeschoben werden kann. Zum schnellen Schliefsen und Öffnen des Hauptstromes dient ein Selbstunterbrecher (*Wagnerscher Hammer*). Dieser besteht aus einem Elektromagnet (E), dessen Anker an einer dünnen metallenen Feder befestigt ist, welche gegen eine mit der Hauptspule leitend verbundene Schraube stöfst. Sobald nun der bei n eintretende Strom durch die Windungen der Hauptspule hindurchfliefst, wird der Anker vom Elektromagnet angezogen. Dadurch wird der Strom bei f unterbrochen, die Feder schlägt wieder zurück, schliefst den Strom abermals u. s. w.

Fig. 506.



Kräftigere Wirkungen geben die Induktionsapparate mit Kondensator *(Ruhmkorffsche Funkeninduktoren)*. Bei denselben haben die Spulen eine feste Lage und der beim Unterbrechen des Hauptstromes entstehende Extrastrom wird in einen Kondensator geleitet, der nach Art einer Franklinschen Tafel eingerichtet ist und sich jedesmal beim Schliefsen des Hauptstromes entladet. (Die eine Belegung des Kondensators ist mit k, die andere etwa mit p, Fig. 501, leitend zu verbinden.) Die Induktionsrolle wird aus sehr vielen Windungen dünnen Drahtes hergestellt und die Leitung zwischen den Drahtenden durch eine Luftstrecke unterbrochen; die in dem Drahte fliefsenden entgegengesetzten Elektricitäten erreichen dadurch eine so hohe Spannung, dafs sie den Zwischenraum in Form eines Induktionsfunkens überspringen. Apparate dieser Art mit einem etwa 60 km langen Induktionsdrahte geben Funken bis zu $\frac{1}{2}$ m Länge. Ebenso lassen sich durch Funkeninduktoren alle anderen Erscheinungen, zu denen eine grofse Spannung der E. gehört, in überraschender Weise ausführen, z. B. werden Nichtleiter (Glasplatten, Papier) durchbohrt, leicht brennbare Gegenstände (trockenes Holz, Äther, Leuchtgas) entzündet, die Luft wird unter starker Ozonbildung verändert, wenn der Induktionsfunke hindurchgeht. Besonders auffällig sind die prachtvollen Lichterscheinungen, die der Induktionsstrom in verdünnter Luft oder in Gasen erzeugt, wenn er durch die *Geifslerschen Röhren* (Glasröhren mit eingeschmolzenen Platindrähten) geleitet wird. Indes sind diese merkwürdigen Erscheinungen (Verschiedenheit der Lichthülle am + und —Pol, eigentümliche Schichtungen, Einflufs eines genäherten Magnets) noch nicht genügend erklärt.

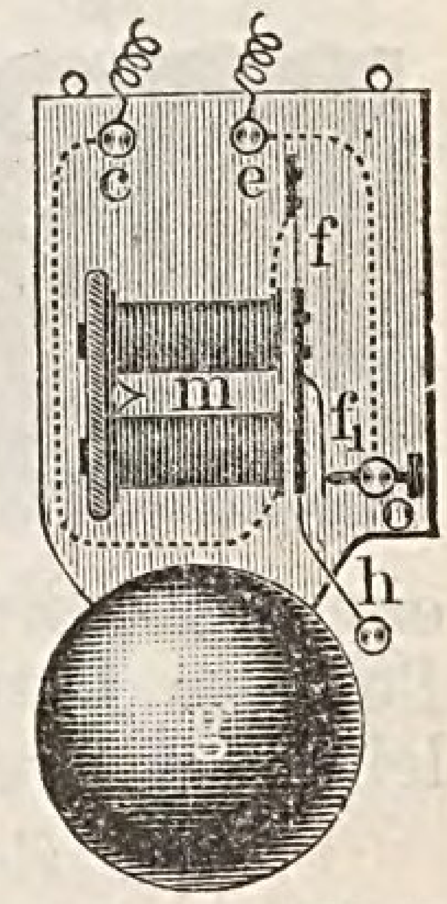
Übungsstoff. 1. Warum können zu Induktionsspulen dünnere Drähte benutzt werden, als zu den Hauptspulen? — 2. Welchen Vorteil gewährt dies für die Erzeugung starker Induktionsströme? — 3. Nach der Stärke der physiologischen Wirkung läfst sich unter sonst gleichen Umständen die Dauer der Induktionsströme ungefähr beurteilen; inwiefern? — 4. Wie gelangt der bei p (Fig. 501) in den Induktionsapparat eintretende galv. Strom nach n? — 5. Wie erklärt sich die Stromunterbrechung? — 6. Ist bei einem Induktionsapparate ohne Kondensator die Induktionsspule nicht verschiebbar, so wird das in der Hauptspule steckende Eisendrahtbündel mit einer verschiebbaren Messinghülse umgeben; w.? — 7. Wenn man die Enden der Hauptspirale R, Fig. 501 (etwa k und l), durch einen Draht verbindet (Nebenschliefsung), so werden die Funken bei f bedeutend schwächer. Erkl.! — 8. Inwiefern können die Induktionswirkungen zwischen benachbarten Leitungsdrähten beim Telegraphieren und Telephonieren (§ 142) Störungen im Betriebe veranlassen?

Technische Anwendung des Elektromagnetismus und der Induktion.

§ 142. Elektrische Klingel und Uhr. Telegraph. Telephon und Mikrophon.

1) **Elektrische Klingel.** Um durch den galv. Strom einfache Glocken-Signale zu geben, benutzt man den Selbstunterbrecher (Fig. 507). Vor dem Elektromagnet (m) desselben ist an einer elastischen Feder (f) ein Anker befestigt, der den Stromschlufs herstellt, indem er mit dem federnden Streifen f_1 die Schraube o berührt. (Die Drähte der Klemmen c und e führen zur Batterie.)

Fig. 507.



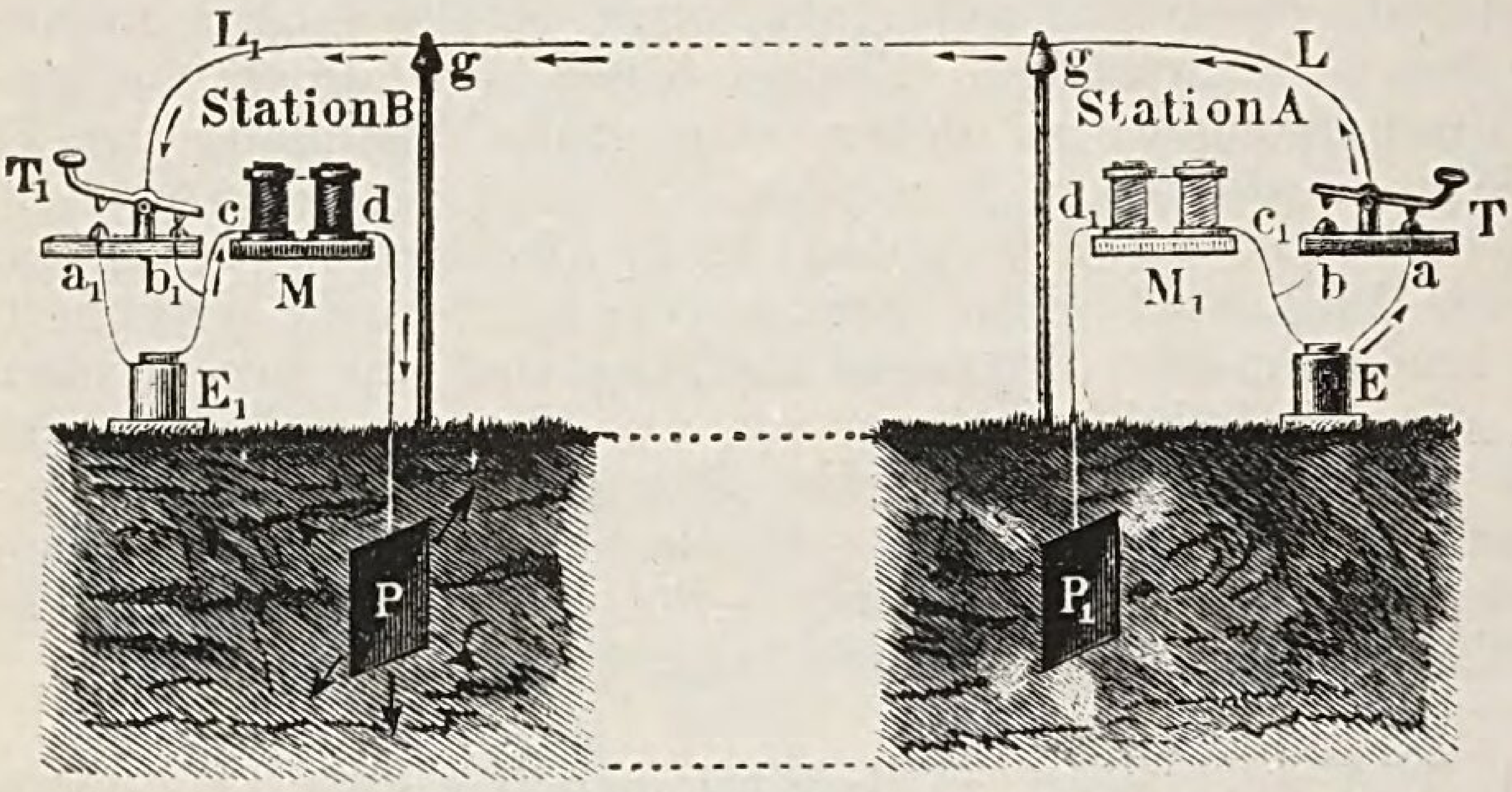
Indem der Anker vom Elektromagnet angezogen wird und der Hammer h an die Glocke schlägt, ist der Strom unterbrochen, da die auf dem Anker befestigte Feder f_1 dann die Schraube o nicht mehr berührt. Der Anker schnellt zurück, berührt die Feder wieder, schliefst dadurch von neuem den Strom und wird infolgedessen abermals angezogen. Hierdurch wird der Strom wieder unterbrochen u. s. w.

Elektrische Uhren sind Zeigerwerke, die durch den galv. Strom in übereinstimmendem Gange mit einer Normaluhr (Pendeluhr) gehalten werden. Man

erreicht dies dadurch, dafs die Normaluhr etwa in jeder Minute einmal einen Stromleiter schliefst und der Stromschlufs durch einen Elektromagnet auf einen Anker einwirkt, wodurch ein Zahnrad um einen Zahn fortbewegt wird. Die Bewegung des Zahnrades rückt den Minutenzeiger, dessen Bewegung sich durch ein Räderwerk auf den Stundenzeiger überträgt.

2) Telegraph. Die magnetische Wirkung des galvanischen Stromes findet ihre wichtigste Anwendung in der **Telegraphie.** Jeder Telegraph (Fig. 508) besteht im wesentlichen aus 4 Teilen: 1) dem *Stromerreger*, 2) der *Leitung*, welche die Aufgabe-Station mit der Empfangs-Station in der Weise verbindet, dafs der Strom beliebig geschlossen und unterbrochen werden kann, 3) dem *Zeichengeber*, 4) d. *Zeichenempfänger*.

Fig. 508.



In Fig. 508 sind durch E und E_1 zwei Elemente dargestellt, welche die den Strom erzeugenden Batterien der Stationen A und B andeuten; P und P_1 stellen zwei mit den Batterien verbundene und in den Boden eingegrabene Metallplatten dar, T und T_1 die Zeichengeber, M und M_1 die Zeichenempfänger, L und L_1 die Drahtleitung; die Pfeile endlich geben die Stromrichtung für den Fall an, dafs von A nach B telegraphiert wird.

Der Stromerreger. Zur Erzeugung des Stromes werden Batterien von sehr konstanten Elementen angewandt und zwar entweder die Meidinger-Krügerschen Kupferelemente (Zinkcylinder in einer Lösung von Zinkvitriol und eine Kupfer- oder Bleiplatte in Kupfervitriol) oder Zinkkohlenelemente (Zink und Kohle mit Salmiakfüllung). Versuche, die man in den letzten Jahren angestellt hat, haben ergeben, dafs auch Akkumulatoren sich mit Vorteil für den telegraphischen Betrieb verwenden lassen. Die Zahl der zu einer bestimmten Leitung erforderlichen Elemente oder Akkumulatorzellen richtet sich hauptsächlich nach der Länge der Leitung; man rechnet durchschnittlich für je 5 km Leitung 1 Element und für den Betrieb eines Morseapparates 9 Elemente.

Die Leitung besteht aus verzinktem Eisendraht oder aus Kupfer-(Bronce-) draht. Zur Isolierung des Drahtes dienen bei oberirdischen Leitungen gewöhnlich Glocken aus Porzellan (g, Fig. 508), bei unterirdischen und unterseeischen Leitungen Hüllen aus Guttapercha und geteertem Hanf, die zum Schutz gegen äufsere Beschädigungen mit Stahldrähten umgeben sind (Fig. 509 und 510). Zwischen zwei Stationen ist nur ein Leitungsdraht erforderlich; eine eigentliche Rückleitung des Stromes ist überflüssig, da es genügt, den anderen Pol der Batterie mit einer grofsen, in die feuchte Erde versenkten Kupferplatte leitend zu verbinden.

Fig. 509.

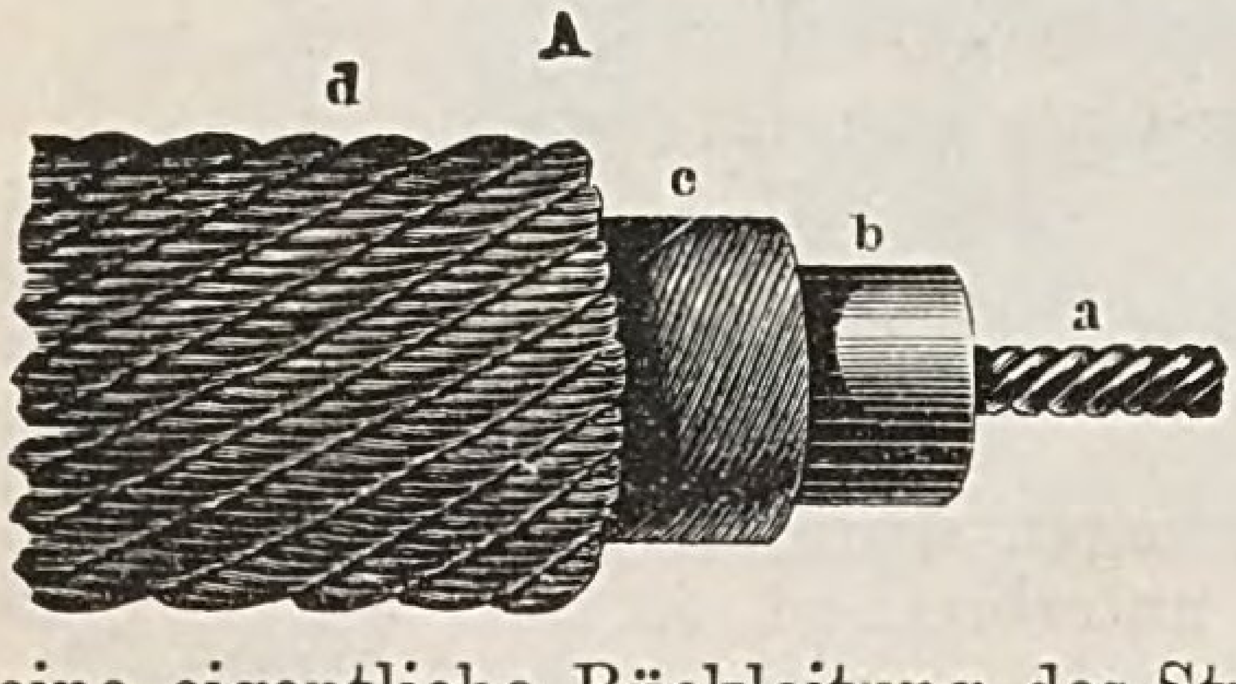
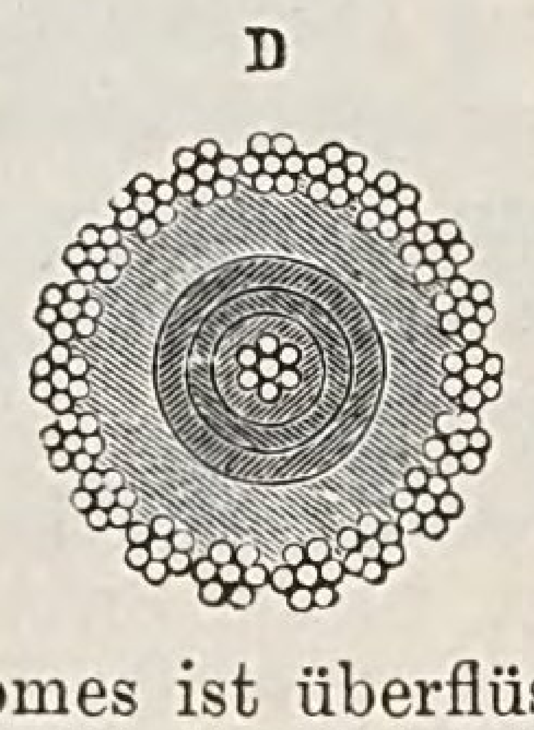


Fig. 510.



Die Geschwindigkeit, mit welcher der galv. Strom in den Telegraphendrähten sich fortpflanzt, ist der geringen Spannung der Berührungs-E. entsprechend bedeutend geringer als die, welche man für den Entladungsstrom der Rei-

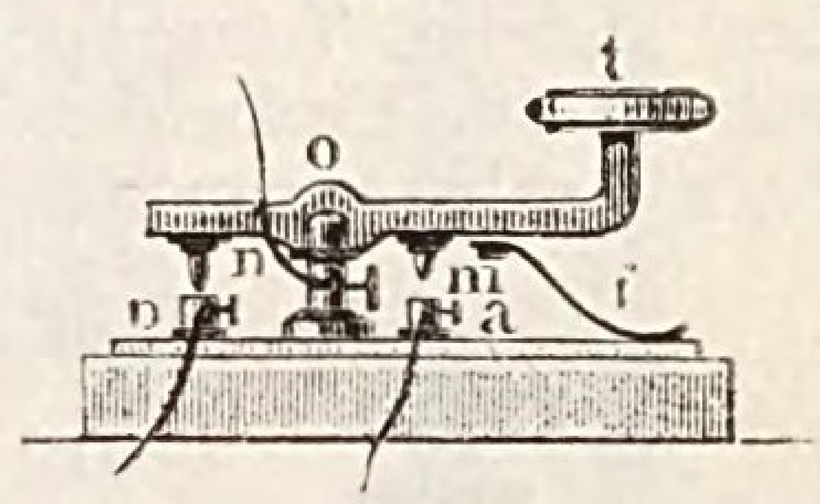
bungs-E. gefunden hat; bei längeren Leitungen verfliefst sogar eine merkliche Zeit, ehe sie vom Strom durchlaufen werden. Man nennt diese Zeit die **Ladungszeit** und hat gefunden, dafs sie dem Quadrat der Drahtlänge direkt proportional ist, d. h. dafs z. B. in einem 3mal so langen Draht der Strom erst nach einer 9mal so langen Zeit seine Wirkung äufsert. Da die Ladungszeit aufserdem vom Stoff, von der Form und Dicke des Drahtes abhängig ist, so kann die Geschwindigkeit des galv. Stromes immer nur bedingungsweise angegeben werden (etwa 25000 km in der Sek.).

Man unterscheidet *Druck-, Zeiger- und Nadel-Telegraphen.* Bei den ersteren wird die elektromagnetische Wirkung auf weiches Eisen, bei dem Nadel-Telegraphen die Ablenkung der Magnetnadel durch den el. Strom angewandt. Der gebräuchlichste Telegraph ist der

Morsesche Zeichendruck-Telegraph.

a. Der Zeichengeber (Fig. 511) bildet einen zweiarmigen metallenen *Hebel,* Taster oder Schlüssel genannt, der so in die Leitung eingeschaltet wird, dafs der Strom durch einen Druck auf den Knopf (t) des einen Hebelarmes geschlossen werden kann. Eine unter diesem Arme angebrachte Feder (f) bringt den Hebel, sobald der Druck aufhört, wieder in seine anfängliche Lage zurück.

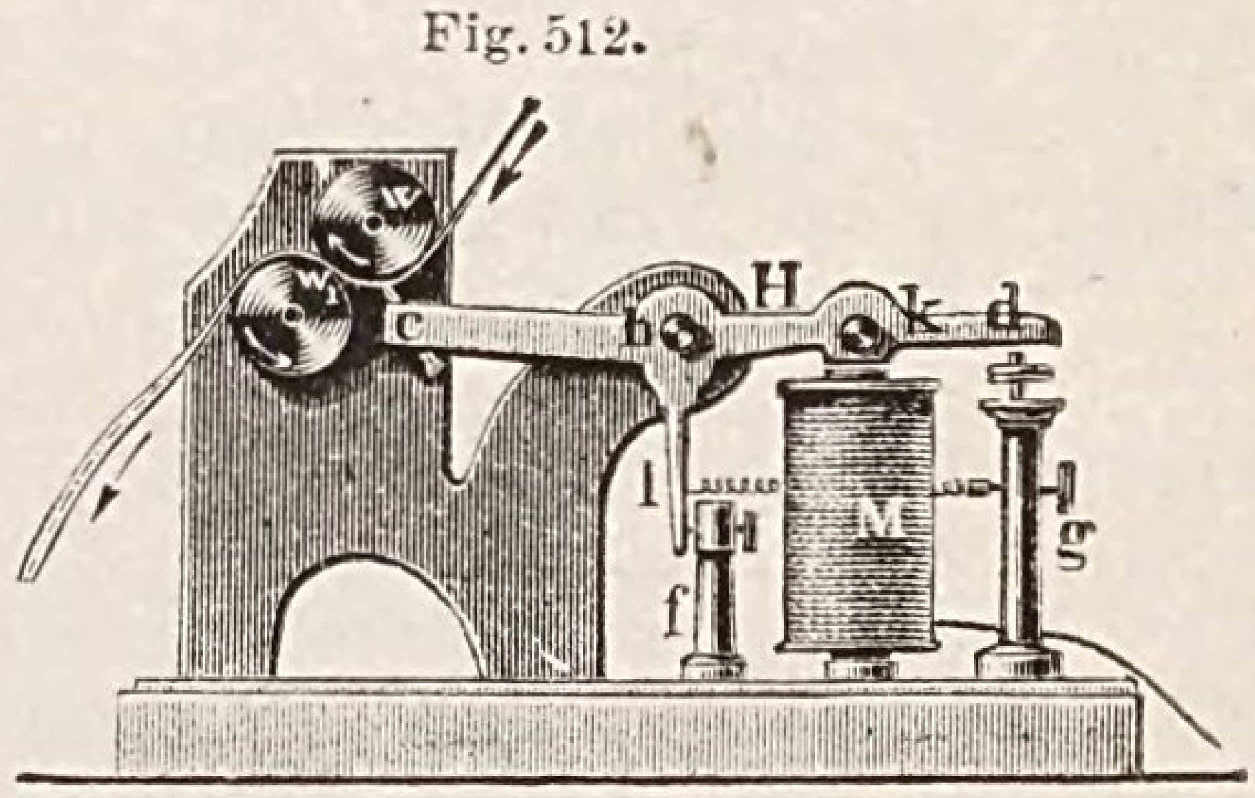
Fig. 511.



Befindet sich der Taster in seiner Ruhelage (vergl. Fig. 508, Station B), so ist die Batterie aus der Linienleitung ausgeschaltet und diese nur mit dem Zeichenempfänger und der Erdleitung beider Stationen verbunden; von dieser Station geht also kein Strom durch die Linie. Um die Batterie in die Leitung einzuschalten, braucht nur der Taster niedergedrückt zu werden (Station A), wodurch der Stromschlufs hergestellt wird. Man nennt dies das Telegraphieren mit Arbeitsstrom, während beim Telegraphieren mit Ruhestrom für gewöhnlich ein Strom durch die Linie geht und das Zeichengeben in einer Unterbrechung desselben besteht.

b. Der Zeichenempfänger (Fig. 512) besteht 1) aus einem *Hebel* (H), dessen einer Arm mit einem eisernen Anker (k) und dessen anderer Arm mit einem Stahlstifte (c) versehen ist, 2) aus einem *Elektromagnet* (M) und 3) aus zwei durch ein Uhrwerk bewegten *Walzen,* zwischen denen ein Papierstreifen liegt, der mit gleichförmiger Geschwindigkeit langsam fortgeschoben wird. Sobald der Strom die beiden Eisenkerne des Elektromagnets (M) umkreist, wird der Anker angezogen und der Stift prägt eine Vertiefung in den Papierstreifen. Wird der Strom unterbrochen, so zieht eine (den Seitenarm l des Hebels mit der Säule g verbindende) Spiralfeder den Hebel wieder zurück. Je nachdem nun der Druck auf den Taster sofort wieder aufhört oder kurze Zeit andauert, entsteht auf dem Papierstreifen ein Punkt oder ein Strich. Aus Punken und Strichen ist das ganze Alphabet zusammengesetzt. Beispiel:

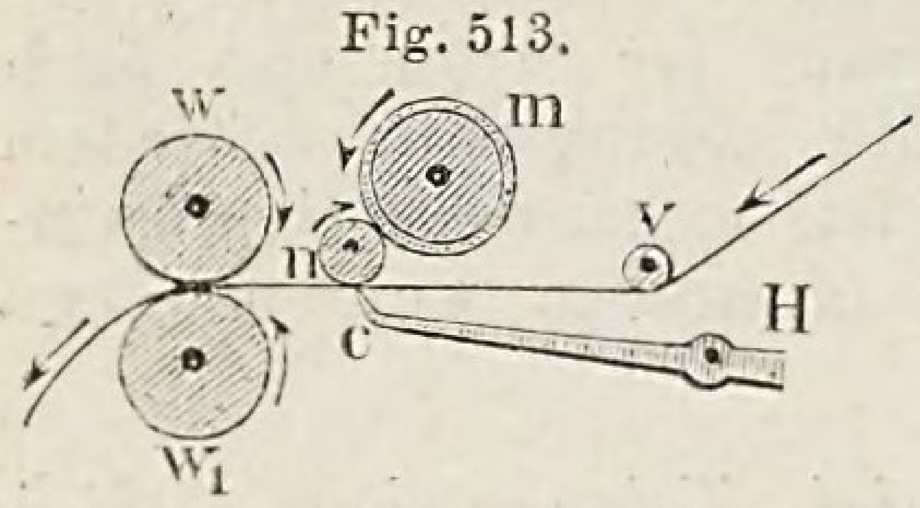
Fig. 512.



B	i	t	t	e	u	m	A	n	t	w	o	r	t
—···	··	—	—	·	··—	——	·—	—·	—	·——	———	·—·	—

In neuerer Zeit hat man die Zeichenempfänger des Morseschen Telegraphen so eingerichtet, dafs statt der Eindrücke farbige Zeichen auf dem Papierstreifen entstehen. Zu diesem Zwecke sind die drei Walzen m, n und v (Fig. 513) angebracht. Erstere ist mit einem Filzstreifen überzogen, welcher mit Farbstoff getränkt wird. Dadurch nimmt die anliegende Walze ebenfalls Farbstoff an, sodafs es nur eines geringen Druckes durch den Hebel (H) bedarf, um auf dem zwischen n und dem Stifte c des Hebels sich fortbewegenden Papierstreifen farbige Punkte und Striche hervorzurufen. Derartige Apparate („Farbschreiber") sind in der deutschen Reichstelegraphie jetzt eingeführt.

Fig. 513.



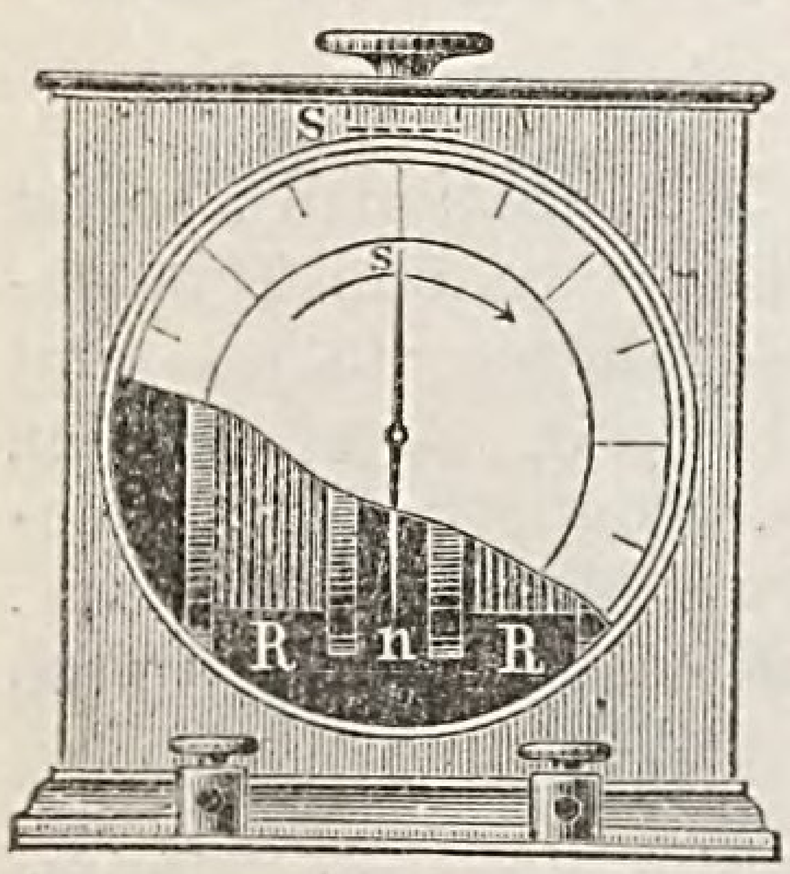
Zeiger- und Nadeltelegraph.

Bei den **Zeigertelegraphen** wird durch den Strom ein Zeiger gehemmt, der sich vor einem Zifferblatt, auf dem die Buchstaben des Alphabets und die Zahlen stehen, gleichmäfsig dreht.

Die Zeigertelegraphen stehen in der Schnelligkeit der Zeichengebung hinter den anderen Telegraphen sehr zurück. Da sie durch die Fernsprechapparate auch betreffs der Einfachheit des Gebrauches weit übertroffen werden, so finden sie nur noch wenig Anwendung.

Die Einrichtung der **Nadeltelegraphen** beruht auf der Ablenkung der Magnetnadel durch den galv. Strom. Der Zeichenempfänger bildet einen Multiplikator mit senkrechter Nadel, welche die Zeichen durch Ausschläge angiebt (Fig. 514). Um Ausschläge nach rechts und links bewirken zu können, ist der Zeichengeber als Stromwender eingerichtet.

Fig. 514.



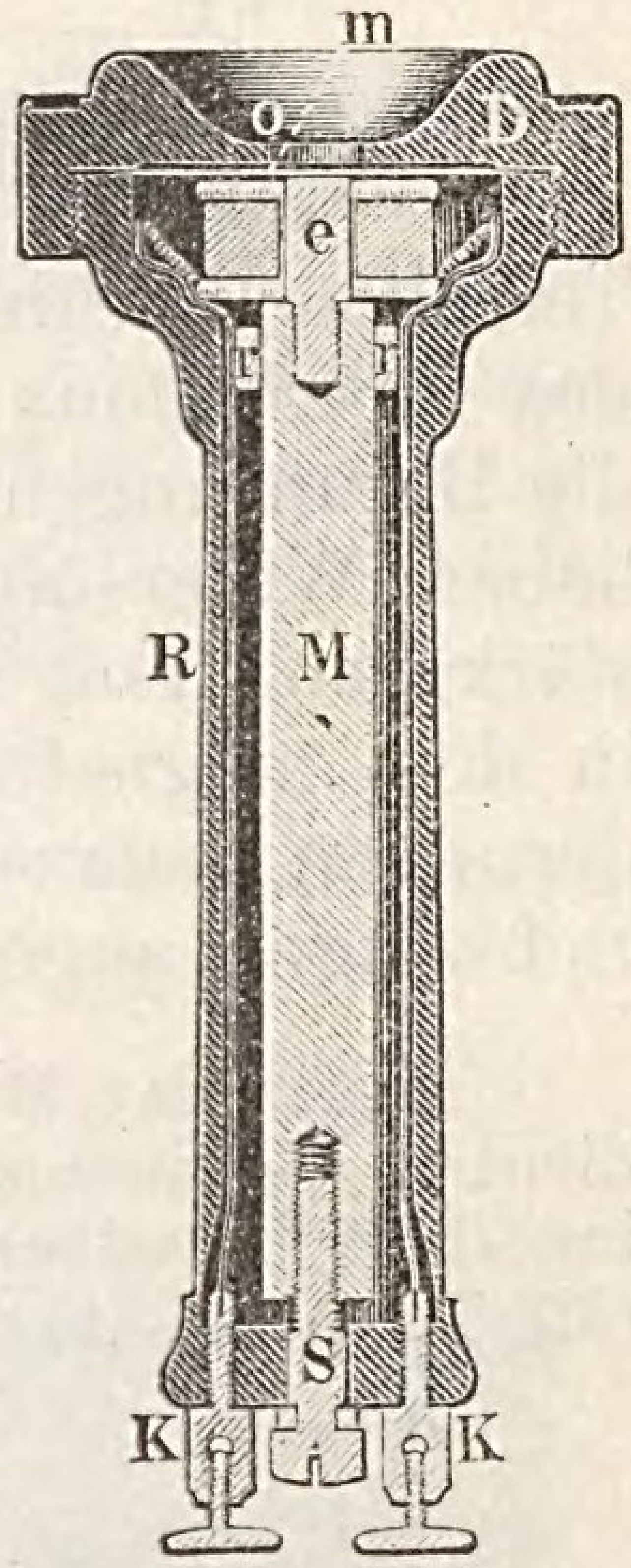
Nadeltelegraphen sind hauptsächlich bei der unterseeischen (transatlantischen) Telegraphie im Gebrauche. Auf der äufserst empfindlichen horizontalen Nadel ist ein kleiner Spiegel befestigt. Diesem gegenüber ist in einem Abstande von etwa 1 m ein mit einem schmalen Spalt versehener Schirm aufgestellt, durch den von einer Lampe ein Lichtstreifen auf den Spiegel fällt. Das vom Spiegel zurückgeworfene Licht ist auf einer über dem Schirm angebrachten Skala als helle Linie sichtbar, die durch die geringste Ablenkung der Nadel merklich verschoben wird *(Thomsons Spiegelgalvanometer)*.

Der erste elektromagnetische Telegraph ist in *Göttingen* von *Gaufs* und *Weber* (1833) eingerichtet worden. Als Zeichengeber diente ein Stahl- und ein Elektromagnet, als Zeichenempfänger ein wagerecht aufgehängter Magnetstab. Letzterer wurde durch Induktionsströme abgelenkt, die man dadurch erzeugte, dafs man den Elektromagnet dem Stahlmagnet näherte und ihn wieder entfernte. Die beiden Leitungsdrähte verbanden die Sternwarte und das physikalische Kabinett der Universität. — 1837 machte *Steinheil in München* die Entdeckung, dafs die eine der beiden Drahtleitungen durch die Erdleitung ersetzt werden kann. Von Steinheil wie auch von *Wheatstone* (spr. Uihtstohn) sind (1837) die ersten für den praktischen Gebrauch geeigneten Nadeltelegraphen hergestellt worden. Letzterer erfand 1840 auch den Zeigertelegraphen. — Von 1837 bis 1844 wurde von *Morse in Newyork* der Zeichendruck-Telegraph und ungefähr 20 Jahre später von *Hughes* (spr. Juhs) der Typendruck-Telegraph erfunden. Letzterer giebt die Zeichen gleich in gewöhnlicher Druckschrift wieder. Der Typendrucktelegraph, der nur auf den Hauptlinien des deutschen Reiches in Gebrauch ist, sowie andere für den Telegraphendienst wichtige Erfindungen können hier nicht näher beschrieben werden. Solche Erfindungen sind: das Relais, das durch den Farbschreiber für kürzere Leitungen entbehrlich geworden ist (vergl. Übungsstoff, Frage 6); die automatischen Übertrager, die selbstthätig die Depesche auf einen Papierstreifen übertragen; die Methoden des Doppelsprechens und Gegensprechens, mittelst

deren man auf einem Drahte mehrere Depeschen gleichzeitig befördern kann u. s. w. Um die Entwickelung der Telegraphie namentlich auch der unterseeischen, haben sich die Gebrüder Siemens (*Werner Siemens*, † 1892 in Berlin, *William Siemens*, † 1883 in London) grofse Verdienste erworben. Die erste Kabellegung zwischen Europa und Amerika wurde 1866 glücklich ausgeführt (ein 1857 gelegtes Kabel zerrifs).

3) Telephon und Mikrophon. Das *Telephon von Bell* (1876) besteht aus einem Stahlmagnet (M, Fig. 515), der in einer mit trichterförmigem Mundstück versehenen Hülse von Holz oder Hartgummi steckt. Auf das vordere Ende des Magnets ist eine Induktionsrolle geschoben und nahe vor demselben ist eine dünne elastische Platte (m) von weichem Eisen befestigt, die in Schwingungen gerät, sobald man in das Mundstück hineinspricht. Zeichengeber und Zeichenempfänger haben dieselbe Einrichtung und sind durch Leitungsdrähte miteinander verbunden. Die Schwingungen der Platte des Zeichengebers bringen Änderungen in dem Zustande des magn. Feldes hervor, die in den Drahtwindungen der Rolle Induktionsströme erzeugen. Diese pflanzen sich bis zum Empfangstelephone fort und bewirken hier umgekehrt, indem sie den Magnetpol umkreisen, entsprechende Änderungen in dem magn. Zustande desselben, durch welche wieder die zugehörige Eisenplatte in die gleichen Schwingungen versetzt wird. Auf diese Weise werden im Telephone der Empfangsstation die Töne hörbar, die in das Telephon der Aufgabestation gesprochen wurden.

Fig. 515.



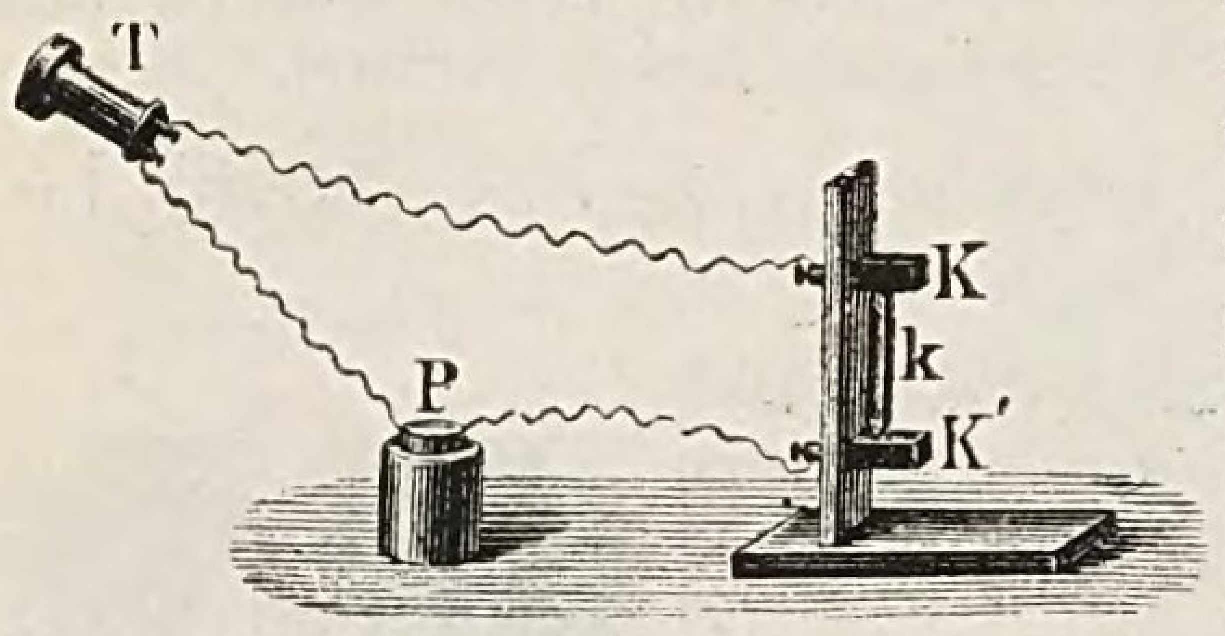
Das *Bellsche Telephon* mufs beim Sprechen nahe vor den Mund und beim Hören dicht an das Ohr gehalten werden. Da die Deutlichkeit der gehörten Worte aufserdem von der Aussprache und Betonung sehr abhängig ist, hat *Siemens* eine Verbesserung dadurch angestrebt, dafs er statt des einfachen Stabmagnets einen Hufeisenmagnet mit mehreren Induktionsrollen und gröfserer Polfläche anwendete. Bei dieser Einrichtung sind Worte, die in gewöhnlicher Stärke gesprochen werden, auch in einiger Entfernung vom Schalltrichter noch deutlich zu verstehen. Das Anrufen zum Sprechen geschieht gewöhnlich durch Glockensignale, die mittelst einer el. Klingel gegeben werden.

Durch das Telephon ist ein direkter sprachlicher Verkehr auf weite Entfernungen in einfachster Weise ermöglicht. Die ersten erfolgreichen Versuche, einen Schall auf elektrischem Wege zu übertragen, wurden bereits 1861 von *Reis* angestellt; mittelst des von ihm erfundenen Telephons konnten indes nur musikalische Töne und einzelne Worte übertragen werden. Die vollständige Verwirklichung der Idee von *Reis* gelang durch das von *Bell* (1876) erfundene Telephon. Aber erst durch die Verbindung des Telephons mit dem Mikrophon ist es möglich geworden, auf sehr weite Entfernungen hin deutlich zu sprechen.

Das **Mikrophon** ist eine Vorrichtung, durch die mit Hülfe des galv. Stromes Töne und Worte und auch sehr leise, an und für sich vollständig unhörbare Geräusche so verstärkt werden können, dafs sie durch ein in die Stromleitung eingeschaltetes Telephon auf grofse Entfernung hin deutlich hörbar sind. Das Mikrophon wurde erfunden von *Hughes* (1878) und besteht aus einem kleinen, senkrecht stehenden Resonanzboden (Fig. 516, folg. Seite), auf dem zwei Stäbchen (K und K_1) von harter Kohle befestigt sind; zwischen diesen ist ein an beiden Enden

zugespitztes Kohlenstäbchen (k) lose aufgestellt. Auf der Rückseite des Resonanzbodens sind zwei Klemmschrauben angebracht und mit jenen beiden Kohlenstäbchen leitend verbunden. In die Leitung wird eine galv. Batterie (P) und ein Telephon (T) eingeschaltet. Spricht man nun leise gegen den Apparat, streicht mit einem feinen Haarpinsel über den Resonanzboden oder legt eine aufgezogene Taschenuhr darauf u. s. w., so sind selbst diese ganz schwachen Geräusche durch das Telephon weithin hörbar und werden sogar noch verstärkt. — Die Wirkung des Mikrophons erklärt sich daraus, dafs durch die Schallschwingungen die Berührungen der Kohlenstäbchen sich ändern. Diese Veränderungen haben Widerstandsänderungen, mithin auch Änderungen in der Stromstärke zur Folge. Durch die Änderung der Stromstärke aber werden in dem magnetischen Zustande des Telephonmagnets entsprechende Änderungen hervorgerufen, wodurch die Eisenplatte des Telephons zum Schwingen angeregt wird.

Fig. 516.



Auch das **Mikrophon** ist neuerdings noch mehrfach verbessert worden und dient in Verbindung mit dem verbesserten Telephon dem Fernsprechverkehr sowohl innerhalb derselben Stadt als auch auf Entfernungen von Hunderten von Kilometern (die Telephonleitung Newyork-Chicago ist über 1500 km lang). Bei der in Fig. 517 dargestellten Einrichtung ist das Mikrophon in ein Gehäuse eingeschlossen, dessen vordere Wand den Schalltrichter enthält. Dicht hinter dem Schalltrichter liegt die den Resonanzboden bildende dünne Platte mit den zugehörigen Kohlenstäbchen (Fig. 518). Von den beiden nur zum Hören dienenden Telephonen wird für den Ortsverkehr nur eins benutzt, während für sehr grofse Entfernungen beide zugleich angewandt werden. Unter dem Gehäuse ist die Signalglocke angebracht. — Die angeschlossenen Geschäftshäuser einer Stadt sind mit einer Centralstation leitend verbunden. Dieser wird zunächst durch Angabe einer bestimmten Nummer mitgeteilt, mit wem man sprechen will. Ist dies geschehen, so werden auf der Centralstation durch eine mechanische Vorrichtung („Klappenschrank") die nach den beiden Geschäftshäusern führenden Drähte miteinander in leitende Verbindung gebracht.

Fig. 517.

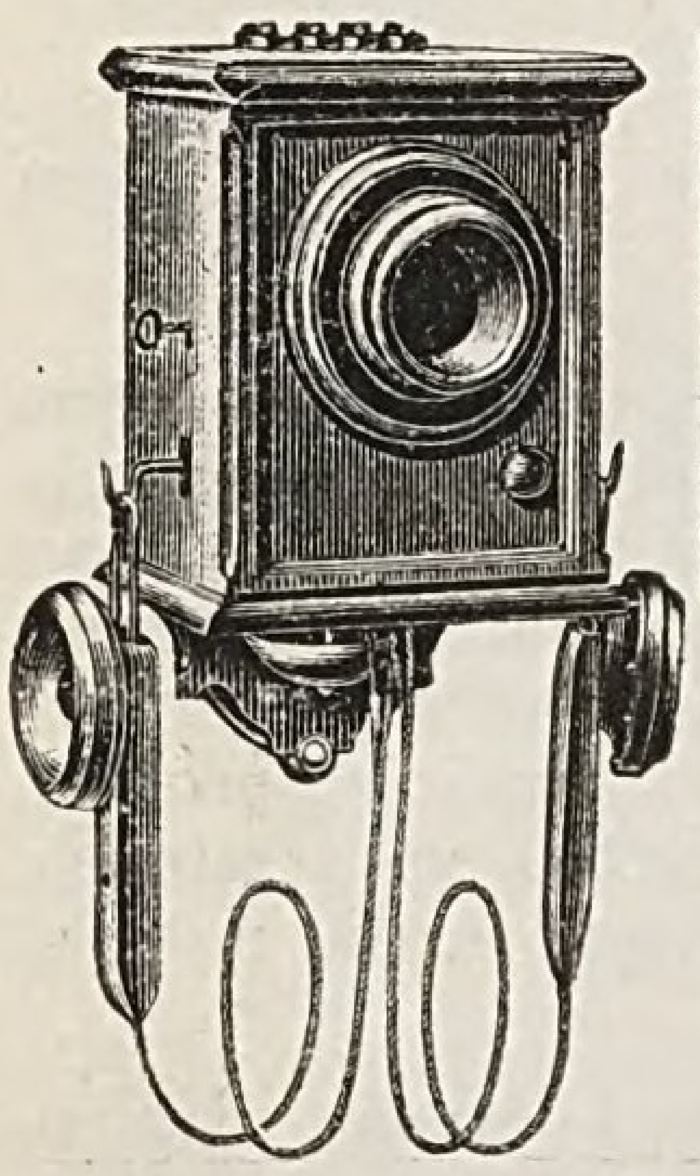
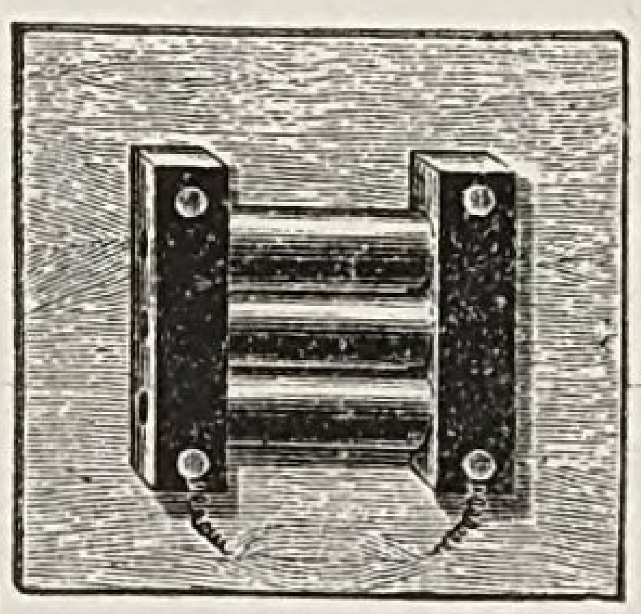


Fig. 518.



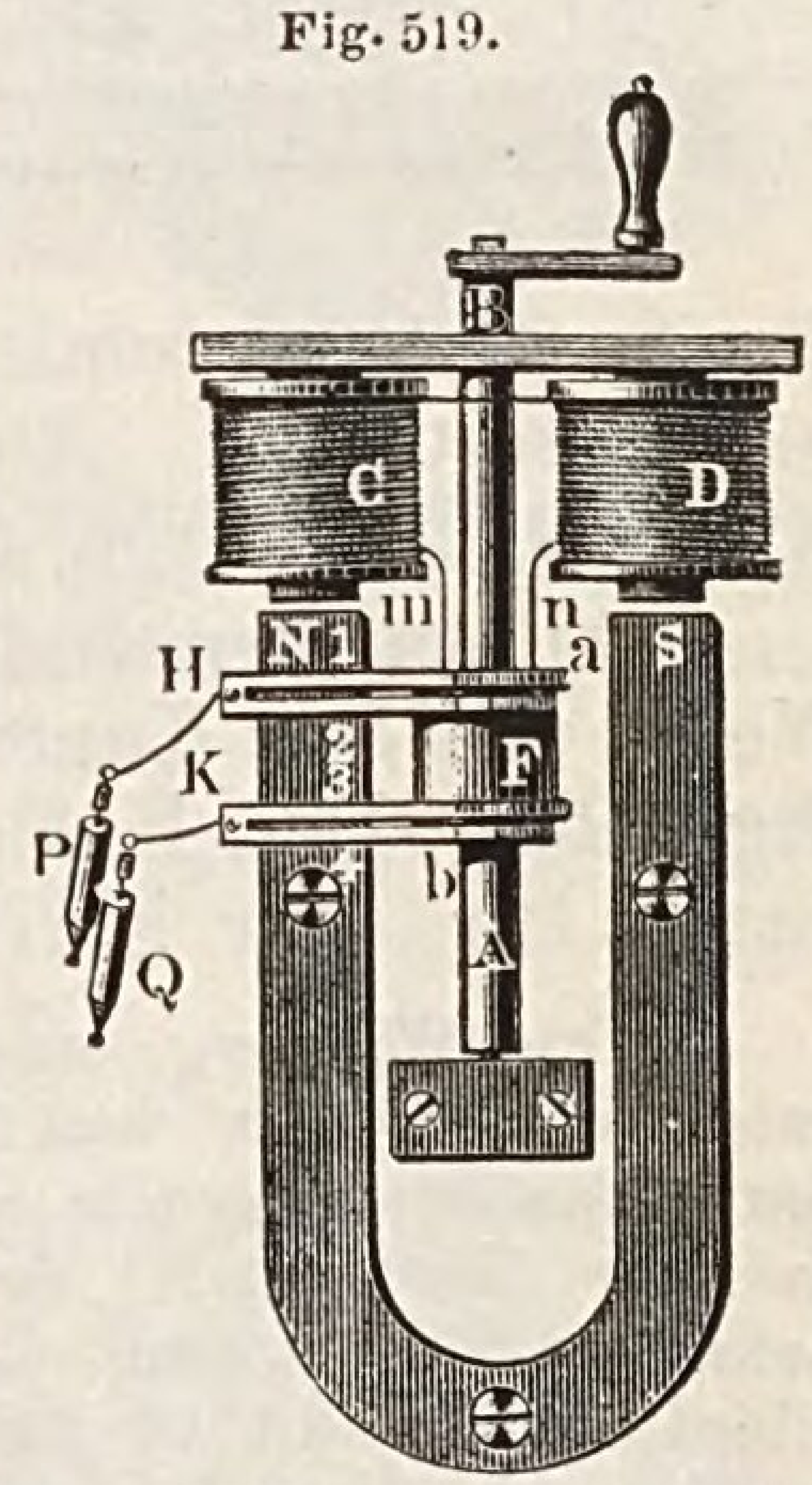
Übungsstoff. 1. Welche wichtigen Endeckungen mufsten vorangehen, ehe die jetzt gebräuchlichen el. Telegraphen erfunden werden konnten, und welche waren für den von Gaufs und Weber eingerichteten Telegraphen besonders wichtig? — 2. Gieb den Lauf des el. Stromes an für den Fall, dafs von Station B (Fig. 508) nach Station A telegraphiert würde. — 3. Da im Eisenkern eines Elektromagnets beim Öffnen des Stromes stets etwas Magnetismus zurückbleibt, so würde es störend wirken, wenn der Anker des Zeichenempfängers beim Telegraphieren die Eisenkerne berührte. Wodurch wird dies nach Fig. 512 verhütet? — 4. Zweck der beiden wagerechten Schrauben in den Säulen f und g? — 5. Welche Vorzüge hat der Schreibtelegraph vor dem Nadel- oder Zeigertelegraphen? — 6. Bei langen Leitungen ist zum Betriebe eines Morseschen Stiftschreibers auf der Empfangsstation ein Relais nötig, d. h. eine Vorrichtung, die aus einem äufserst leicht beweglichen Hebel besteht, der, sobald der Strom der sogen. Linienbatterie wirkt, durch einen Elektromagnet angezogen wird und eine kleine Lokalbatterie schliefst; der

Strom der letzteren setzt dann den Zeichenempfänger in Thätigkeit. Warum ist bei den Farbschreibern das Relais entbehrlich? — 7. Wie ist es zu erklären, dafs ein unterseeisches Kabel ähnlich wie eine Leydener Flasche als Kondensator wirken kann, und weshalb wird die dadurch bewirkte Verzögerung des Signals bei Anwendung schwacher Ströme geringer sein? — 8. Inwiefern findet beim Telephon eine Umkehrung von Ursache und Wirkung statt? — 9. Durch welche Eigenschaften der Kohle ist es zu erklären, dafs sie sich von allen Leitern am besten zur Herstellung des Mikrophons eignet?

§ 143. Magnetelektrische und Dynamo-Maschinen. El. Kraftübertragung. *Faradays* Entdeckung, dafs in einem geschlossenen Stromkreise ein el. Strom entsteht, wenn sich der Stromkreis in einem magnetischen Felde bewegt, bildete den Ausgangspunkt zur Erfindung von Vorrichtungen, mittelst deren man kräftige Ströme durch mechanische Arbeit erzeugen kann. Man nennt dieselben elektrische Maschinen und unterscheidet magnetelektrische und dynamoelektrische Maschinen.

a. Magnetelektrische Maschinen. Eine der ältesten und einfachsten ist der *magnetelektrische Induktionsapparat von Stöhrer* (Fig. 519). Er besteht aus einem kräftigen Hufeisenmagnet, vor dessen Polen ein Anker in schnelle Umdrehung versetzt wird. Jeder der beiden Eisenkerne des Ankers ist von einer Induktionsrolle (C und D) umgeben; in den Windungen dieser Rollen entstehen Ströme von entgegengesetzter Richtung, wenn die Eisenkerne bei der Drehung vor den Polen des Magnets ihre Pole wechseln. Die Ströme werden durch Drähte in die beiden Handgriffe (P und Q) weiter geleitet und durch einen Stromwender (F) oder Kommutator in solche von gleicher Richtung verwandelt.

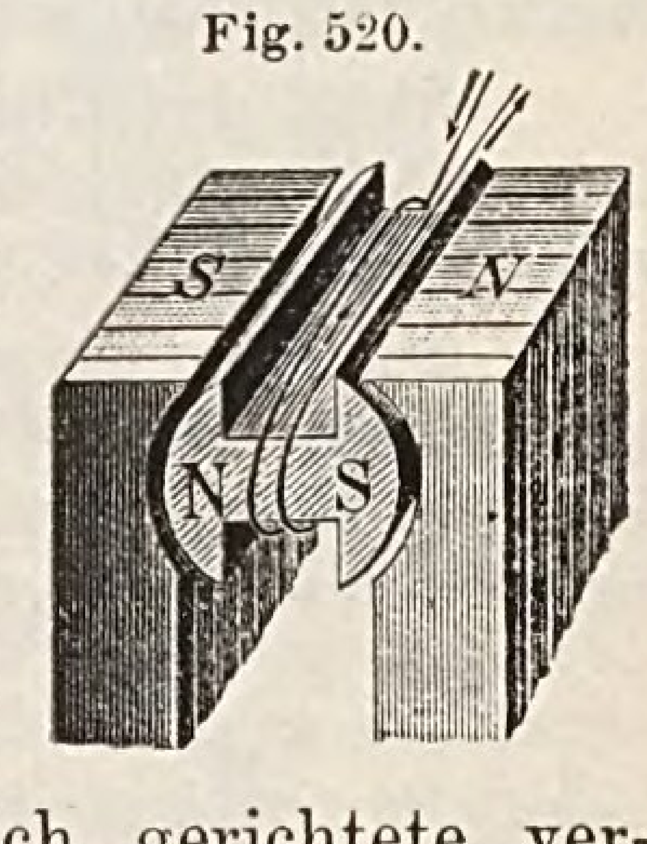
Fig. 519.



Bem. Die Beschreibung des Stromwenders soll übergangen werden, da die magnetelektrischen Maschinen mit Stromwender keine Bedeutung mehr haben.

Um die Stärke der induzierten Ströme zu steigern, wendete man mehrere Magnete und Induktorrollen an und versetzte die letzteren durch Dampfkraft in sehr schnelle Umdrehung (Maschinen zur Erzeugung von el. Licht auf Leuchttürmen).

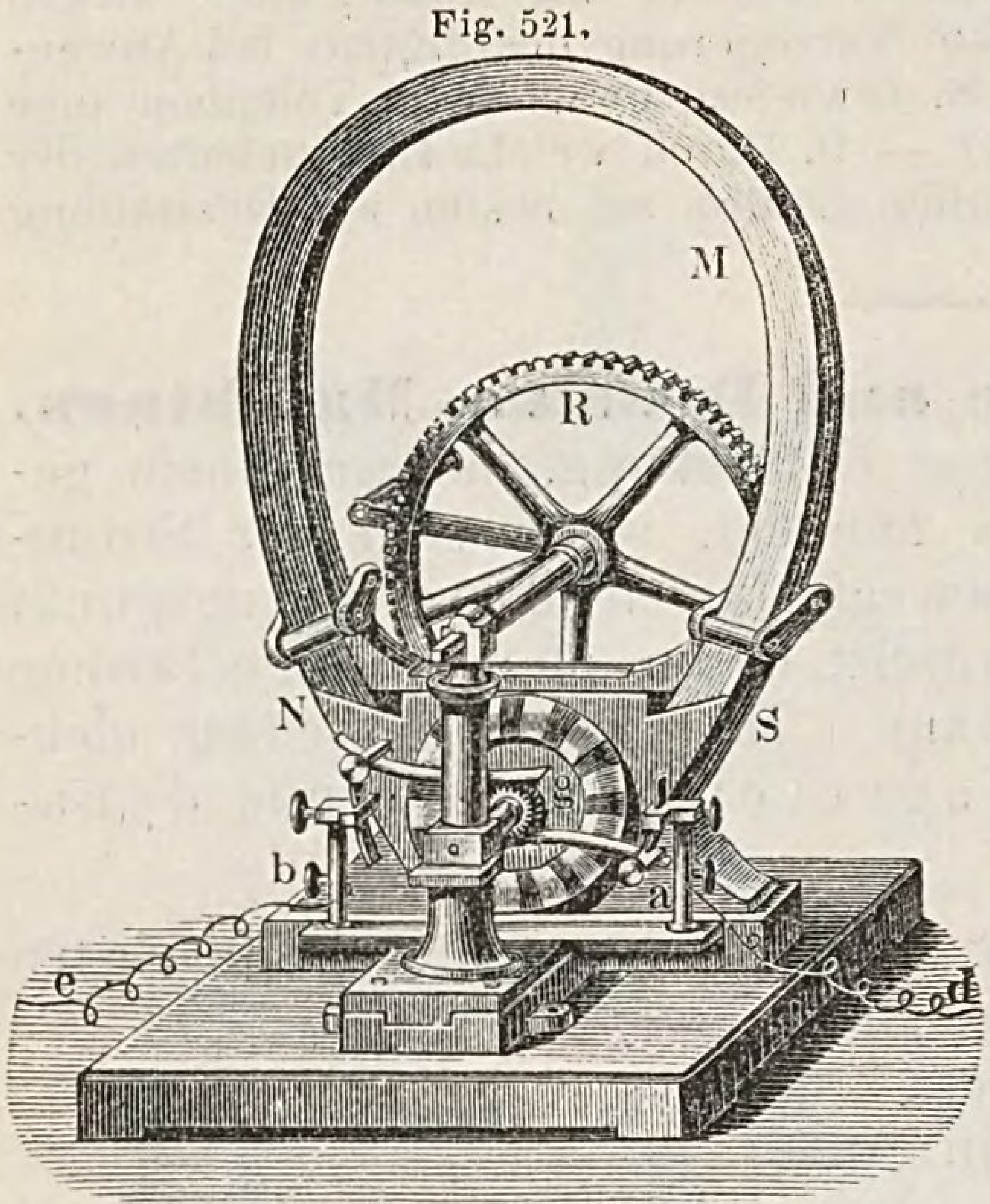
Fig. 520.



Eine wirksamere Konstruktion erfand *Werner Siemens*, indem er dem Anker eine zweckmäfsigere Form gab. Der von ihm benutzte Anker war walzenförmig und der Länge nach zur Aufnahme der zahlreichen Windungen des Induktionsdrahtes mit zwei Ausschnitten versehen: **Doppel-T-Anker** (Fig. 520). Da er sich zwischen halbkreisförmig ausgeschnittenen Magnetpolen dreht, so bleiben bei der Drehung die Drahtwindungen den Polen immer sehr nahe, wodurch die Induktion wesentlich wirksamer wird. Auch bei diesen Maschinen, die für manche Zwecke jetzt noch in Gebrauch sind (Läutewerke bei Eisenbahnen), konnten durch einen Stromwender die Wechselströme in gleich gerichtete verwandelt werden. Da jedoch die Anwendung des Stromwenders mit einem Verlust an Stromstärke verbunden ist, so war die Erfindung von Maschinen, die unmittelbar gleich gerichtete Ströme geben, ein wesentlicher Fortschritt. Fig. 521 (folg. Seite) giebt die äufsere Ansicht einer solchen, der *magnetelektrischen Maschine von Gramme.*

Zwischen den Polen S und N eines kräftigen Hufeisenmagnets dreht sich ein eiserner Ring, der senkrecht zu seiner Ebene auf einer Welle (W in Fig. 523) befestigt ist. Der Ring ist so mit isoliertem Kupferdraht umwickelt, dafs die Drahtwindungen etwa 30 oder mehr sehr nahe nebeneinander liegende Induktionsrollen bilden. Die benachbarten Drahtenden je zweier Induktionsrollen sind aneinander gelötet; somit bilden die Drahtspiralen zusammen gleichsam eine einzige Spirale. Von jeder Lötstelle führt ein speichenartig gerichteter kurzer Leitungsdraht (Strahlstück) bis nahe an die Welle. Hier sind sämtliche Drähte rechtwinklig umgebogen und mit Kupferstreifen verbunden; diese sind voneinander und von der Welle isoliert und an letzterer befestigt (vergl. Fig. 524). Die Streifen bilden somit einen Hohlcylinder, aus dem die Welle beiderseits hervorragt. Auf dem Hohlcylinder schleifen Drahtbürsten, die etwa gleichweit von den Polen des Magnets entfernt sind.

Fig. 521.



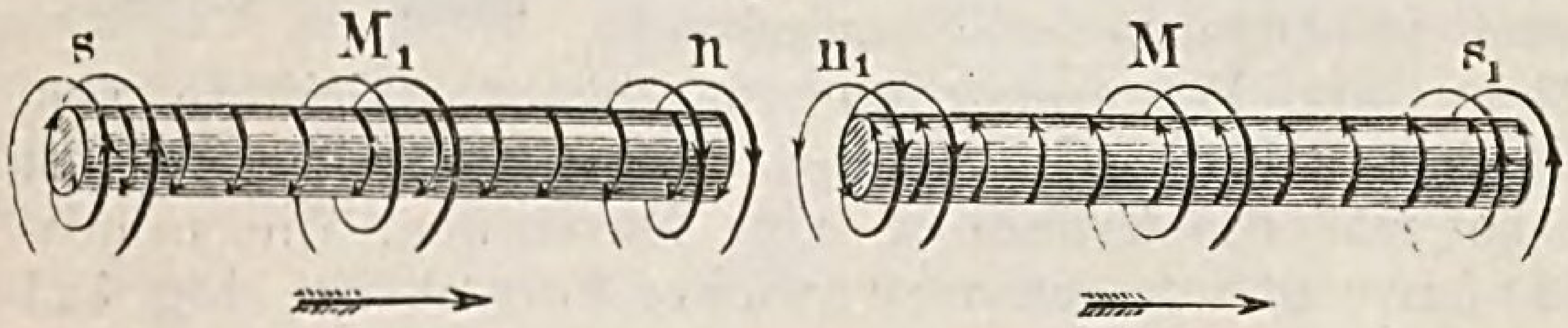
Alle in den Induktionsrollen erzeugten Ströme werden auf diese Weise von den Kupferstreifen gesammelt und durch die Schleifbürsten abgeleitet. Den Hohlcylinder nennt man aus diesem Grunde Stromsammler oder Kollektor (vielfach auch Stromwender).

Die Wirkung einer *Grammeschen Maschine* wird verständlich, wenn man untersucht, was in dem Ringe und in den Drahtwindungen vorgeht, die zwischen den Polen des Magnets rotieren. Der Ring besteht aus weichem Eisen, mithin wird das dem Nordpol (N) des Magnets zunächst liegende Stück des Ringes durch Influenz ein Südpol und das dem Südpol (S) zunächst liegende Stück ein Nordpol. Allerdings kommt in jedem Augenblick ein anderer Teil des Ringes in die Nähe der Pole; da aber die Eisenteilchen ihren Magnetismus sofort wieder verlieren, wenn sie sich von den Polen entfernen und die im Ring entstandenen Magnetpole an derselben Stelle bleiben, so würde die Wirkung ganz dieselbe sein, wenn der Ring überhaupt stillstände und nur die Drahtwindungen um denselben herumliefen.

Statt des Ringes kann man sich mithin auch zwei halbkreisförmig gebogene und mit ihren gleichnamigen Polen aneinanderstofsende Magnete denken, über welche die Drahtspulen hinweggleiten.

Schiebt man eine Spule über einen Magnetstab hinweg, so entstehen in derselben Induktionsströme, deren Richtung sich nach dem *Lenzschen Gesetz* (§ 140) bestimmen läfst. In dem Teile des Ringes, der S zunächst liegt (Fig. 523), stofsen die Nordpole der beiden Ringmagnete aneinander. Denkt man sich nun zwei Stabmagnete mit ihren Nordpolen (n und n_1) zusammenstofsend (Fig. 522), so entfernt sich die in der Richtung des Pfeiles über den Nordpolen fortbewegte Spule von allen Molekularströmen des Magnets M_1 und nähert sich allen Molekularströmen des Magnets M. Die Molekularströme des Magnets M_1 rufen

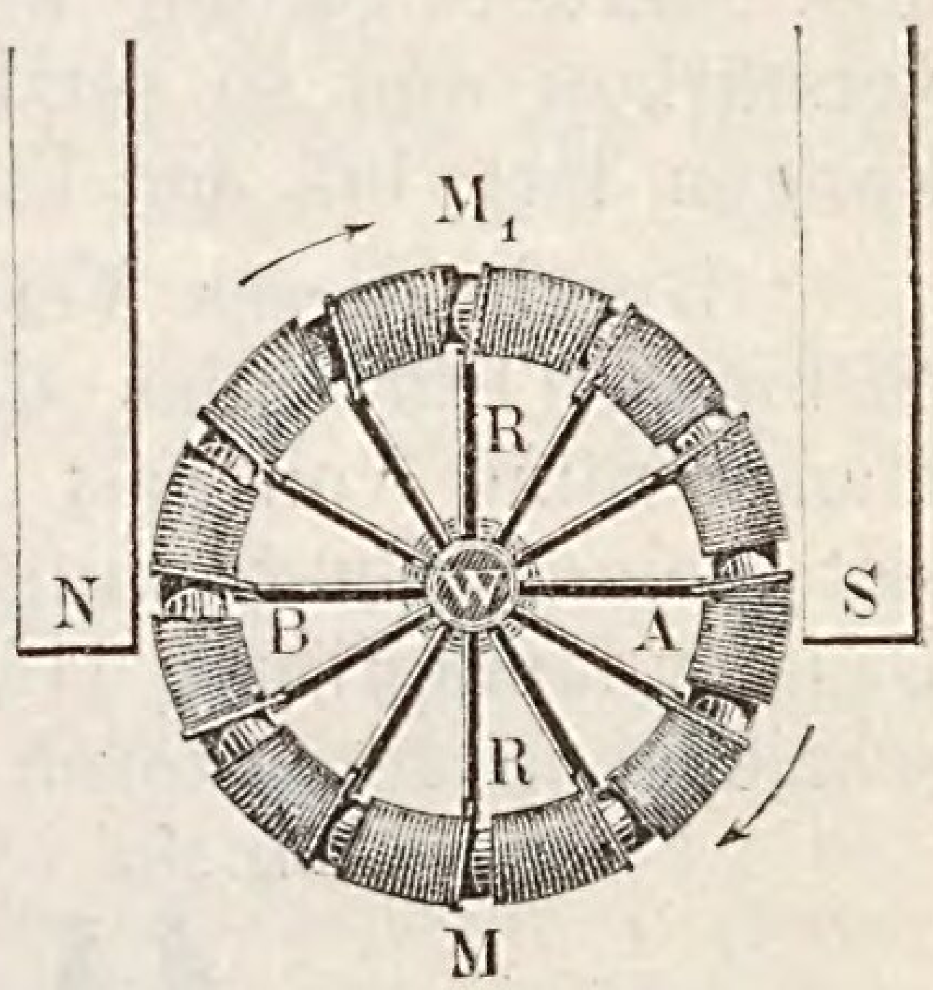
Fig. 522.



mithin gleich gerichtete und die des Magnets M entgegengesetzt gerichtete Induktionsströme hervor; da aber die Molekularströme der Magnetpole selbst einander entgegengesetzt gerichtet sind, weil gleichnamige Pole zusammenstoſsen, so müssen die in der Spule durch die Einwirkung beider Pole erzeugten Induktionsströme gleich gerichtet sein. Es tritt demnach in der Spule kein Stromwechsel ein, wenn sie über den Doppelpol hinweggleitet. Geht die Spule über den Doppelpol hinaus und nähert sich der Mitte des Magnets M, so wird der Induktionsstrom zunächst schwächer, weil der kleinere Teil der Molekularströme des Magnets M jetzt in entgegengesetztem Sinne wirkt. Ist die Spule in der Mitte des Magnets angekommen, so heben sich die Wirkungen der Molekularströme beider Pole auf, es ist also gar kein Induktionsstrom vorhanden; erst nach dem Überschreiten der Indifferenzzone erzeugt der jetzt überwiegende Einfluſs des Südmagnetismus wieder einen Induktionsstrom, der aber eine dem vorigen entgegengesetzte Richtung hat.

Dies gilt ebensowohl für die Stabmagnete M_1 und M, wie für den Ring (Fig. 523). In jeder der beiden Ringhälften werden die Spulen von Strömen durchlaufen, welche den Kern in gleichem Sinne umkreisen. Der Stromwechsel erfolgt in der Indifferenzzone (in M und M_1), wo die Stromstärke gleich Null ist; in der Nähe der Pole dagegen erreichen die Ströme ihre gröſste Stärke.

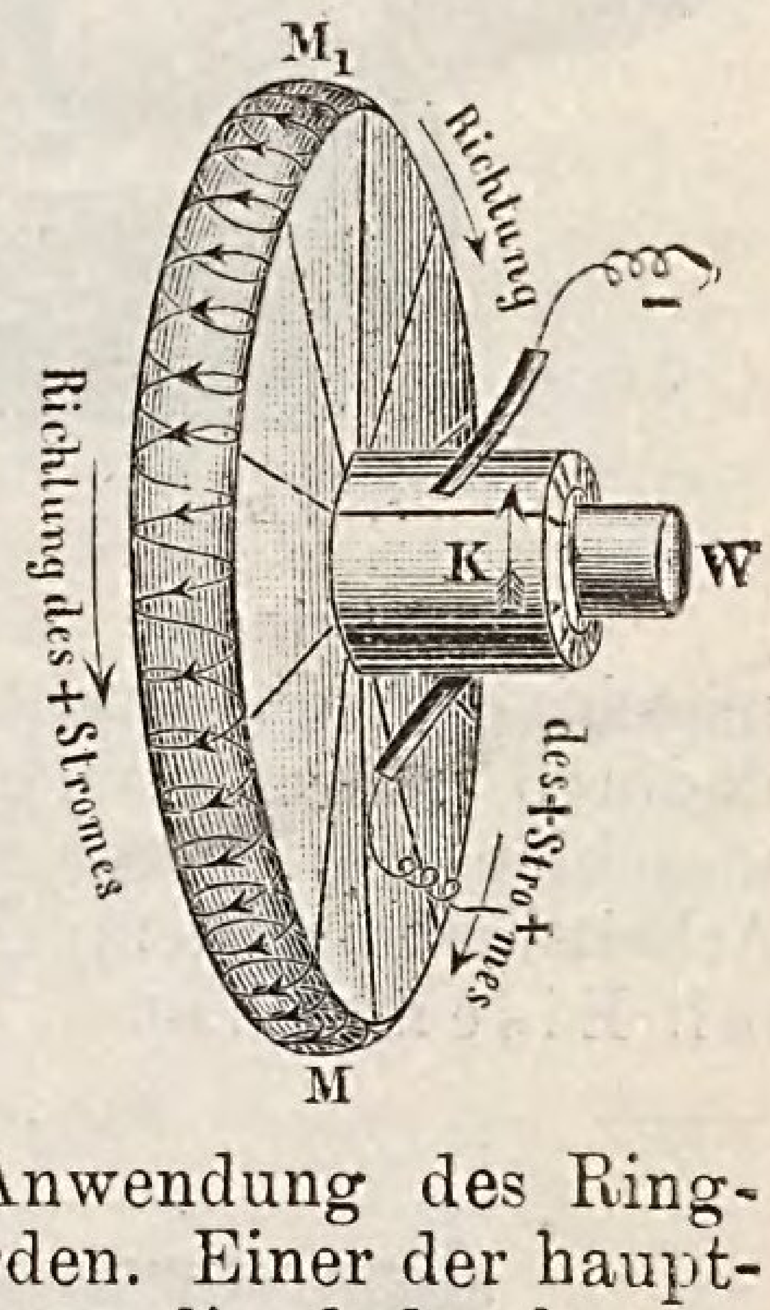
Fig. 523.



Dieselben Vorgänge, welche in einer Spule nach und nach stattfinden, müssen in den zahlreichen Spulen des Ringes der Grammeschen Maschine gleichzeitig stattfinden, da ohne Unterbrechung die Spulen alle Lagen gegen die Pole einnehmen und demnach auch die einzelnen gleich gerichteten Ströme in beiden Hälften des Ringes so schnell aufeinander folgen, daſs sie einen stetig flieſsenden Strom ergeben. (Daſs an der Ableitungsstelle Stromunterbrechungen nicht eintreten können, erklärt sich daraus, daſs die Drahtbürste das folgende Strahlstück schon berührt, ehe sie das vorhergehende verlassen hat.)

Erklärt sich somit die Stetigkeit der Ströme aus der groſsen Anzahl der Spulen, so beruht andererseits die Unveränderlichkeit der Stromrichtung auf dem Umstande, daſs alle Ströme zwischen zwei Indifferenzzonen die gleiche Richtung haben und in jeder Ringhälfte die gleichartigen Ströme nach derselben Indifferenzzone hinflieſsen, wo sie abgeleitet werden (vergl. Fig. 524).

Fig. 524.



Im Ring flieſsen somit die beiden Elektricitäten einander entgegen und die Spulen verhalten sich wie die Elemente einer galvanischen Batterie. Man faſst jedoch nur die positive Elektricität ins Auge, welche in M abgeleitet und durch den äuſseren Schlieſsungskreis nach M_1 zurückgeführt wird.

Der wesentliche Bestandteil der *Grammeschen Maschine*, der Ringinduktor, wurde von *Pacinotti* (1860) erfunden, aber erst durch *Gramme*, der ihn (1871) selbständig wieder erfand, erfolgreich angewendet.

Um gewisse Nachteile zu vermeiden, welche mit der Anwendung des Ringinduktors verbunden sind, ist derselbe mehrfach abgeändert worden. Einer der hauptsächlichsten Übelstände ist die starke Erhitzung des Ringkernes, die dadurch veranlaſst wird, daſs derselbe bei der Rotation seine Pole schnell wechselt (vergl. S. 369). Von den verschiedenen Konstruktionen, mittelst deren man diesen Mangel zu beseitigen suchte, ist der sogen. **Trommelinduktor** besonders wichtig geworden (erfunden von *Hefner-Alteneck*). Bei den *Siemensschen* Maschinen mit Trommelinduktor ist der festliegende cylindrische Anker mit einem rotierenden Blechmantel (Trommel) umgeben, über den der Induktionsdraht parallel zur Längsachse läuft; ferner sind die magnetischen Felder dadurch stark vergröſsert, daſs man die zahlreichen, zu beiden Seiten der Trommel angebrachten Magnete mit bogenförmigen Polen ver-

sieht, welche die Trommel in mehr als $\frac{2}{3}$ ihres Umfanges umfassen. Wie bei der Grammeschen Maschine, so werden auch hier die Einzelströme durch Strahlstücke einem Stromsammler zugeführt und von da mittelst der Drahtbesen weiter geleitet.

b. Dynamoelektrische Maschinen (Dynamomaschinen). Bei den dynamoel. Maschinen werden statt der Stabmagnete Elektromagnete verwendet, wodurch eine bedeutend gröfsere Stromstärke erzielt werden kann.

Das Dynamoprinzip. In einem Eisenstück, welches einmal magnetisch gewesen, bleibt stets etwas Magnetismus zurück. Dieser magnetische Rückstand dient dazu, einen schwachen Induktionsstrom hervorzurufen, der nun zunächst um den Eisenkern geleitet wird und den Magnetismus desselben verstärkt. Der verstärkte Magnetismus ruft aber stärkere Ströme hervor, die nun ihrerseits wieder den Magnetismus verstärken und so setzt sich diese gegenseitige Multiplikation der Wirkungen fort, bis der Eisenkern bis zur Sättigung magnetisiert ist.

Durch dieses Verfahren, das von seinem Entdecker *Werner von Siemens* (1867) das *dynamoelektrische Prinzip* genannt wurde, kann man Ströme von fast unbegrenzter Stärke erzeugen. Deshalb werden seit seiner Entdeckung alle Maschinen nach diesem Prinzip gebaut. Das Dynamoprinzip läfst sich in Verbindung mit jedem der vorher beschriebenen Induktoren *(Doppel-T-Anker, Grammescher Ring, Hefnersche Trommel)* anwenden.

Fig. 525.

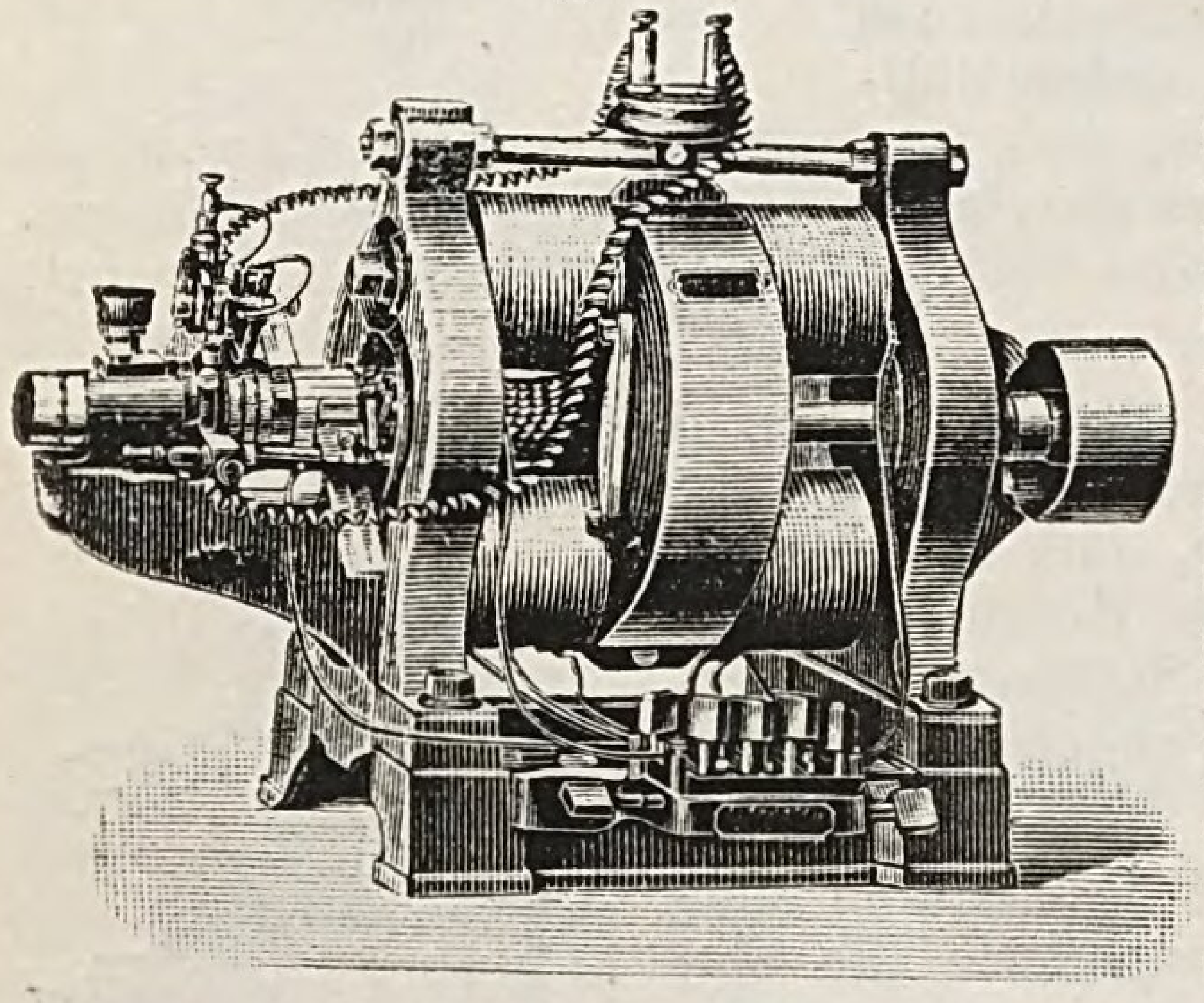
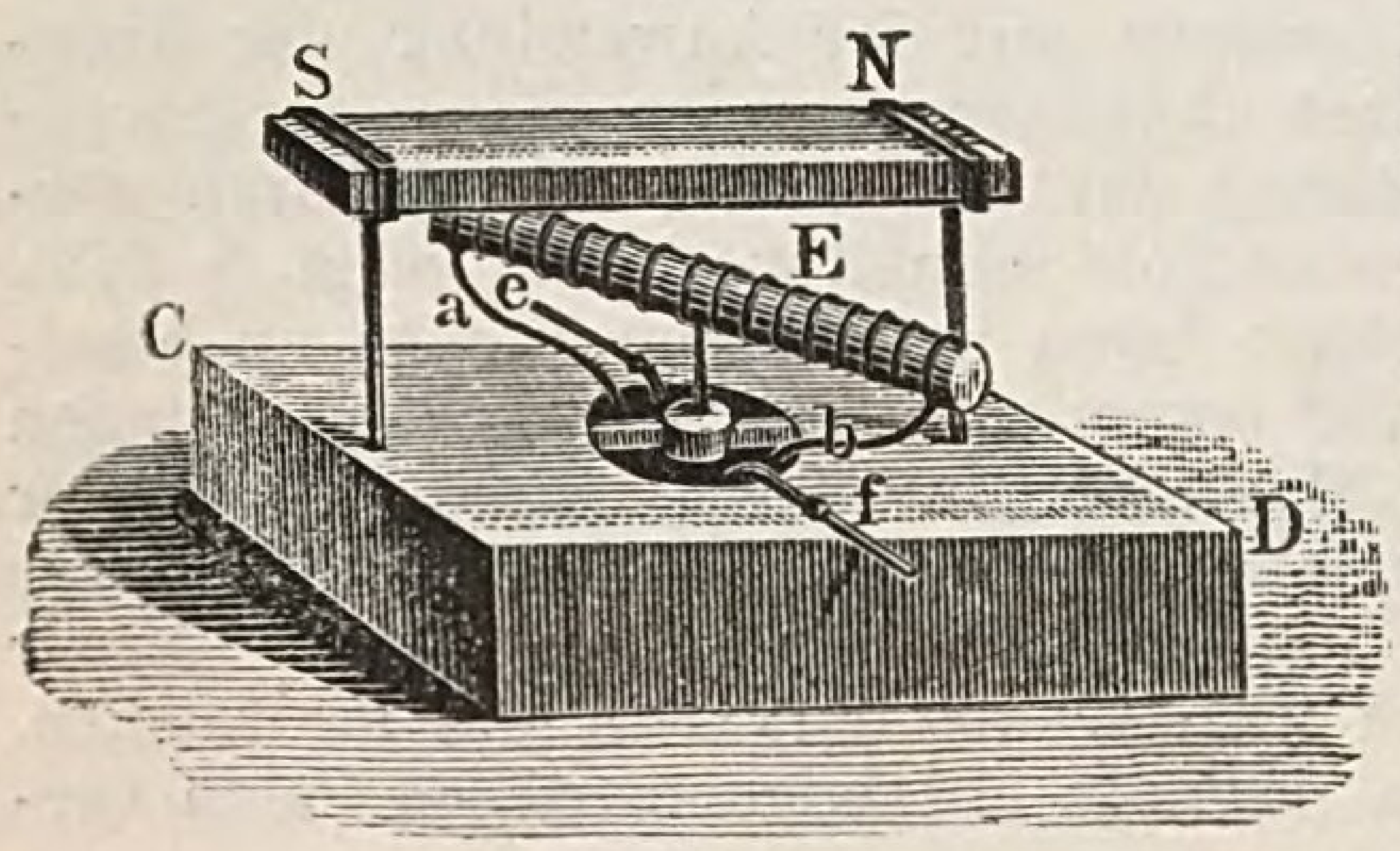


Fig. 525 zeigt eine für den Handbetrieb gebaute Dynamomaschine einer neueren, von *Fraas* erfundenen Konstruktion. Der Induktor (sogen. Flachring) ist durch eine Schutzplatte verdeckt und wird durch die wagerecht liegende Welle zwischen den vier Polschuhen zweier Elektromagnete in rasche Umdrehung versetzt. Der Stromsammler mit den Schleifbürsten befindet sich links an der Welle, wo auch die Ableitungsdrähte sichtbar sind. Die übrigen Drahtleitungen und die im vorderen Teile des Fufsgestelles sichtbaren Metallstöpsel vermitteln verschiedene Umschaltungen und die Einschaltung von Widerständen.

Elektrische Kraftübertragung. Leitet man den Strom einer Dynamomaschine in die Drahtspulen des Ankers einer zweiten Maschine, so wird der Anker dadurch in Umdrehung versetzt. Durch die drehende Bewegung kann eine Arbeitsmaschine betrieben werden. Die Elektricität ist somit die bewegende Kraft, die eine Arbeitsleistung hervorbringt, z. B. durch Drehung der Räder eines Eisenbahnwagens (el. Eisenbahn).

Fig. 526.



Apparate, die durch den el. Strom in Bewegung versetzt werden, heifsen **el. Motoren** oder **elektromagnetische Maschinen.** Ihr Prinzip wird veranschaulicht durch eine nach Fig. 526 konstruierte Vorrichtung: *elektromagnetische Maschine von Ritchie* (1833). Über einem leicht drehbar unterstützten Elektromagnet (E), dessen Drahtenden in Quecksilber eintauchen, ist ein Stahlmagnet angebracht. Die im Fufse des Apparates hergestellte Höhlung, die das Qu. enthält, ist durch eine niedrige, dem Stabmagnet parallele

Scheidewand so in 2 Hälften geteilt, dafs das Qu. über der Scheidewand getrennt ist und letztere von den Drahtenden bei der Drehung nicht berührt wird. Leitet man nun einen Strom in das Qu., so wird der Eisenstab magnetisch und bei der angegebenen Stellung durch den Stahlmagnet in Drehung versetzt, wobei er infolge seiner Trägheit die Scheidewand überschreitet. Ist letzteres erfolgt, so kehrt sich die Polarität des Stabes um. Die vorher angezogenen Pole werden dadurch wieder abgestofsen und der Stab setzt seine Drehung andauernd fort. Gröfsere Elektromotoren haben statt der mit Quecksilber gefüllten Schale einen Stromwender, der aus einem in zwei isolierte Hälften geteilten Messingring besteht; an gegenüberliegenden Punkten desselben schleifen zwei Metallfedern.

Im Jahre 1839 trieb *Jacobi* auf der Newa ein Boot durch einen Elektromotor, der durch einen Strom von 64 Groveelementen in Bewegung gesetzt wurde. Der Betrieb von Elektromotoren durch Batterieströme ist indes viel zu kostspielig, als dafs man im grofsen eine Anwendung davon machen könnte. Erst durch die Erfindung der Dynamomaschinen wurde es möglich, starke el. Ströme so billig zu erzeugen, dafs sie zur Leistung einer Arbeit und auch zur Übertragung einer mechanischen Arbeitskraft nach einem entfernten Orte hin dienen können. Herin liegt das *Prinzip der el. Kraftübertragung*, nach dem z. B. Wasserkraft zunächst dazu benutzt werden kann, mittelst einer Turbine eine Dynamomaschine zu treiben; die Ströme werden dann durch Drähte nach einem an einem anderen Orte aufgestellten el. Motor geleitet und leisten durch dessen Betrieb eine Arbeit.

Die Leitung starker Ströme auf grofse Entfernungen bot jedoch bis in die neueste Zeit scheinbar unüberwindliche Schwierigkeiten und ist schon wegen der hohen Kosten unausführbar, die durch die erforderlichen dicken Leitungsdrähte verursacht werden würden. Wie nun aber bei fliefsendem Wasser eine kleine Wassermenge mit grofsem Gefälle dieselbe Arbeit leisten kann, wie eine grofse Wassermenge mit geringem Gefälle, so kann auch ein schwacher el. Strom von hoher Spannung statt eines starken Stromes von kleiner Spannung verwendet werden. Nachdem man Methoden ersonnen hatte, die starken Ströme von geringer Spannung in Ströme von geringer Stärke, aber hoher Spannung umzuformen, wurde es möglich, diese hochgespannten Ströme auf weite Strecken fortzuleiten. Die Umformung geschieht durch die sogen. *Transformatoren*, welche dem Prinzip nach ebenso wirken, wie die Induktionsapparate. Ströme von hoher Spannung lassen sich durch dünne, genügend isolierte Kupferdrähte fortleiten und an der Verbrauchsstelle wieder in starke Ströme von geringer Spannung transformieren.

Zur Kraftübertragung mittelst hochgespannter Ströme eignen sich besonders die Wechselstrommaschinen. Durch geeignete Einrichtungen (sogen. *Drehstrommotoren*) gelang es (1891), die Kraftübertragung von Lauffen am Neckar nach Frankfurt a. M. (auf eine Entfernung von 175 km) auszuführen. Die Wasserkraft, die sich in Lauffen in el. Energie umsetzte, lieferte in Frankfurt el. Strom zur Beleuchtung des Ausstellungsplatzes und setzte eine Pumpe in Bewegung, die einen Wasserfall von 10 m Höhe hervorbrachte.

Da mit der Kraftübertragung zugleich eine **Kraftverteilung** verbunden werden kann, so ermöglicht sie nicht nur die Nutzbarmachung von Naturkräften im grofsen, sondern auch deren Verwertung für den Maschinenbetrieb im Kleingewerbe (el. Kraftübertragung und Kraftverteilung in Berlin, Breslau u. a. O.).

Übungsstoff. 1. Vergl. die Dauer der zwischen den folgenden Entdeckungen liegenden Zeiträume miteinander: a. Nachweis der Anwendbarkeit der Dampfspannung zum Maschinenbetriebe und wirkliche Anwendung derselben, b. Entdeckung, dafs Bernstein durch Reiben el. wird, und Erfindung der Influenzmaschinen, c. Entdeckung der Berührungs-E. und Anwendung derselben in der Telegraphie, d. Entdeckung der Induktionsströme und Erzeugung derselben durch Dynamomaschinen. — 2. Inwiefern geht bereits aus den einfachsten Versuchen über Induktionsströme (§ 141) hervor, dafs zur Erzeugung solcher Ströme mechanische Arbeit erforderlich ist? — 3. Inwiefern ist durch die Anwendung der Dampfkraft überall die Möglichkeit gegeben, die el. Kraft im Grofsbetriebe auszunutzen? — 4. Welchen Einflufs mufs a. die Zahl der Windungen des Induktionsdrahtes, b. die Zahl der Umläufe des Induktors, c. die Gröfse des magnetischen Feldes auf die Strom-

stärke einer el. Maschine ausüben? — 5. Bei welchen el. Maschinen ist die Intensität des magn. Feldes eine konstante Gröfse und bei welchen nicht? Grund? — 6. Bei welchen dieser Maschinen mufs sich hiernach eine Änderung in der Umdrehungsgeschw. am leichtesten bemerklich machen? — 7. Der Ringanker der Grammeschen Maschine wirkt am kräftigsten, wenn er aus zahlreichen ausgeglühten Eisendrähten zusammengesetzt ist, da in diesen der Magnetismus am schnellsten entsteht und wieder verschwindet. Auf welche Beziehung zwischen den Zustandsänderungen im Ringe und in den Induktionsdrähten läfst sich hieraus schliefsen? — 8. Entfernt man den Schnurlauf einer Influenzmaschine und verbindet ihre Konduktoren mit den Konduktoren einer anderen, in Thätigkeit versetzten Elektrisiermaschine, so wird die bewegliche Scheibe der Influenzmaschine in Umdrehung versetzt. (Versuch von *Mascart.*) Erkläre diesen Versuch nach dem Prinzip der el. Kraftübertragung! — 9. Welche Vorteile bietet die Kraftübertragung durch den el. Strom gegenüber derjenigen durch mechanische Hilfsmittel, und inwiefern vollendete ein Teil der mittelst E. von Lauffen nach Frankfurt übertragenen Wasserkraft einen vollständigen Kreislauf?

Thermo-Elektricität und tierische Elektricität.

§ 144. Elektrische Ströme lassen sich nicht nur durch chemische Vorgänge und mechanische Arbeit, sondern auch durch Wärme erzeugen. Dies geschieht in der Weise, dafs man zwei Streifen von verschiedenen Metallen an beiden Enden zusammenlötet und eine der beiden Lötstellen erwärmt oder abkühlt. Eine solche Verbindung zweier Metalle heifst ein **Thermoelement** (Fig. 527); mehrere Thermoelemente bilden eine **Thermosäule** (Fig. 528).

Versuch. 1) Wird eine der beiden Lötstellen des aus einem Kupferstreifen und einem Bügel aus Antimon oder Wismut zusammengesetzten Thermoelementes (Fig. 527) durch eine Flamme erwärmt, so giebt eine innerhalb des Metallbügels angebrachte Magnetnadel einen Ausschlag. Abkühlung der Lötstelle bewirkt einen Ausschlag in entgegengesetzter Richtung. 2) Schaltet man in den Schliefsungsbogen einer aus Eisen u. Neusilber zusammengesetzten Thermosäule (Fig. 528) ein Galvanoskop ein, so erhält man beim Erwärmen der geradzahligen oder ungeradzahligen Lötstellen einen um so stärkeren Ausschlag, je gröfser die Zahl der zugleich erwärmten Lötstellen ist. — Thermosäulen, die aus zahlreichen Antimon- und Wismutstäbchen zusammengesetzt sind (**Thermomultiplikator,** Fig. 529), wirken schon bei äufserst schwacher Erwärmung auf die Nadel eines sehr empfindlichen Galvanoskopes ein.

Fig. 527.

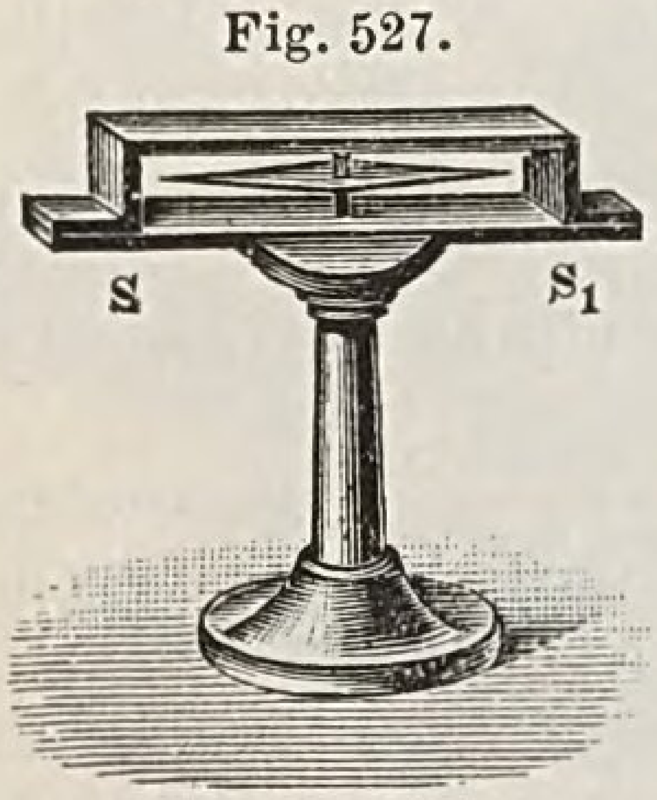


Fig. 528.

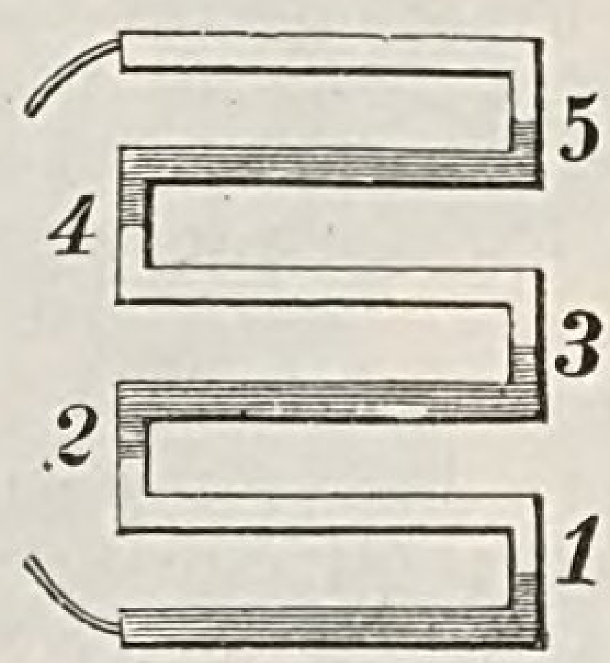
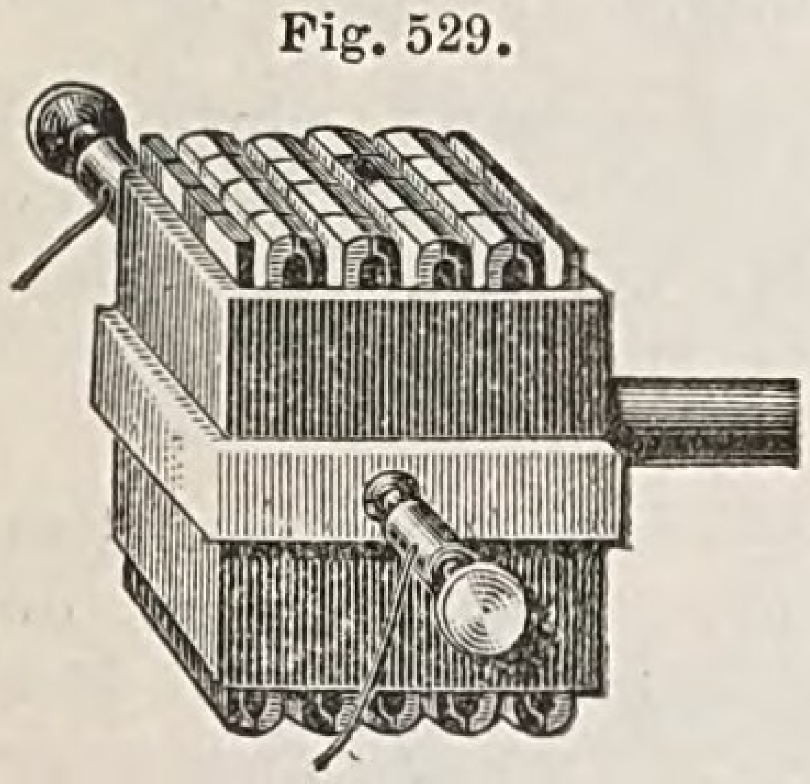


Fig. 529.



Die Metalle lassen sich in eine Reihe ordnen, in der bei Verbindung je zweier Metalle zu einem Thermoelement an der wärmeren Lötstelle der positive Strom von dem in der Reihe voranstehenden zu dem folgenden Metalle übergeht. Die wichtigsten Glieder dieser Reihe sind: *Wismut, Nickel, Platin, Blei, Gold, Kupfer, Silber, Zink, Eisen, Antimon.* Für gleiche Temperaturunterschiede ist der Strom um

so stärker, je weiter die Metalle in dieser Reihe voneinander entfernt sind. (Die elektromotorische Kraft eines aus Neusilber und einer Zink-Antimon-Legierung hergestellten Elementes beträgt etwa 0,1 Daniell.)

Die Stärke der Thermoströme ist abhängig 1) von der Natur der Metalle, 2) von der Anzahl der Elemente und 3) von dem Temperaturunterschiede der Berührungsstellen.

Auf das thermoelektrische Verhalten der Metalle übt der Grad der Reinheit und Härte, sowie die Struktur derselben einen Einfluſs aus. Ein sehr empfindlicher Multiplikator zeigt schon einen Thermostrom an, wenn der eingeschaltete Draht an einer Stelle etwa durch Hämmern, durch Bildung eines Knotens oder dergl. in seiner Dichtigkeit verändert worden ist und diese Stelle darauf erhitzt wird. — Thermomultiplikatoren lassen sich zu sehr empfindlichen Versuchen über strahlende Wärme anwenden (§ 125).

Die Thermoelektricität wurde 1821 von *Seebeck* entdeckt, während die umgekehrte Verwandlung von Elektricität in Wärme schon lange vorher bekannt war. Später zeigte *Peltier* (1834), daſs eine Wärmewirkung entsteht, wenn der Strom eines galv. Elementes durch die Berührungsstelle der Metalle geleitet wird; geht der Strom in der Richtung von Wismut zum Antimon, so kühlt sich die Lötstelle ab.

Auch in den Muskeln und Nerven des menschlichen und tierischen Körpers hat man el. Strömungen nachgewiesen. die in engem Zusammenhang mit der Lebensthätigkeit stehen (Untersuchungen von *Du Bois-Reymond*). Einige Fische aus der Familie der Rochen (der Zitterrochen) und aus der Familie der Aale (der Zitteraal) besitzen sogar besondere elektrische Organe, durch welche sie bei bloſser Berührung sehr empfindliche el. Schläge erteilen können.

Übungsstoff. 1. Wie wird sich die Magnetnadel (Fig. 527) verhalten, a. wenn man beide Lötstellen zugleich erwärmt, b. wenn man sie zugleich abkühlt? — 2. Wie hat man zu verfahren, um einen möglichst starken Strom zu erhalten? — 3. Leite aus der Spannungsreihe ab, warum Eisen und Nickel, namentlich aber Antimon und Wismut zu Thermoelementen besser geeignet sind, als z. B. Eisen und Kupfer. — 4. Führe nach der Spannungsreihe mehrere Metallverbindungen an und ordne sie nach der Stärke des Stromes, den sie bei gleicher Temperaturveränderung liefern würden. — 5. Welche Richtung hat der +Strom in Fig. 527 und 528 bei einer Erwärmung a. der links, b. der rechts gelegenen Lötstellen an diesen Lötstellen selbst? — 6. Desgl. im Schlieſsungsbogen der Thermosäule (Fig. 528)? — 7. Wie läſst sich bei der angeführten Reihe, wenn man die Anfangsbuchstaben des ersten und letzten Gliedes berücksichtigt, leicht behalten, welche Richtung der +Strom im Schlieſsungsbogen hat? (Vergl. dies mit der auf eine galv. Batterie anwendbaren Regel über die Stromrichtung.) — 8. Neusilber hat einen bedeutend höheren Schmelzpunkt als Wismut oder Antimon. Wismut schmilzt bei $+270^0$, Antimon bei $+425^0$ C. Warum ist dies bei der Herstellung einer zur Erzeugung von starken Strömen bestimmten Thermosäule zu berücksichtigen? — 9. Welchen Zweck hat es, die Thermosäulen so einzurichten, daſs die ungeradzahligen Lötstellen den geradzahligen gegenüberliegen?

VIII. Abschnitt.

Rückblick.

§ 145. Lebendige Kraft. Spannkraft. Wird ein Körper in Bewegung versetzt, etwa eine Kugel abgeschossen, ein Eisenbahnzug

fortgezogen, ein Stein gehoben, eine Feder gespannt, ein Bohrer gedreht u. s. w., so verrichtet die Kraft, welche die Bewegung hervorruft, eine mechanische Arbeit, indem sie den vom Körper geleisteten Widerstand auf einer gewissen Strecke überwindet (§ 60). Sobald die Kraft zu wirken aufhört, verhalten sich die in Bewegung gesetzten Körper verschieden. Während Kugel und Wagen ihre angenommene Bewegung noch kürzere oder längere Zeit fortsetzen, scheint es, als ob die zur Bewegung des Steines, der Feder u. s. w. aufgewandte Arbeit vollständig vernichtet sei. Wir betrachten zunächst den ersten Fall.

a. Lebendige Kraft. Setzt der bewegte Körper nach dem Aufhören der Krafteinwirkung seine Bewegung noch weiter fort, so vermag er auf seinem Wege Widerstände zu überwinden. Indem z. B. die abgeschossene Kugel fortfliegt, hat sie den Widerstand der Luft zu überwinden. Durchbohrt sie auf ihrem Wege einen festen Körper, so wird von ihr der noch gröfsere Widerstand der Kohäsion der Körperteilchen überwunden. Dabei nimmt die Geschwindigkeit der Bewegung ab und zwar um so mehr, je gröfser die Widerstände sind. Eine ähnliche Wirkungsfähigkeit zeigen auch die Wagen des fahrenden Eisenbahnzuges, nachdem die Dampfkraft zu wirken aufgehört hat. Kugel und Wagen sind demnach durch die Arbeit, welche die bewegende Kraft an ihnen verrichtete, selbst arbeitsfähig geworden.

Die einem bewegten Körper innewohnende Fähigkeit, Arbeit zu leisten, wird **lebendige Kraft (Energie der Bewegung** *oder* **Wucht der bewegten Masse)** *genannt.*

Die lebendige Kraft ist hiernach nicht etwa als eine besondere Kraft in dem in § 3 angeführten Sinne aufzufassen, der (von *Leibnitz* herrührende) Ausdruck bedeutet vielmehr soviel wie Arbeitsfähigkeit. — Man verwechsele ferner die Wirkung, welche ein bewegter Körper durch seine lebendige Kraft auszuüben vermag, nicht mit der Druckwirkung eines ruhenden Körpers. Eine ruhende Büchsenkugel von 20 g Gewicht kann nur einen ihrem Gewicht entsprechenden Druck ausüben. Wird sie abgeschossen, so vermag sie, wie aus den nachfolgenden Betrachtungen hervorgeht, bei einer Geschwindigkeit von 500 m eine Arbeit von $\frac{1}{2} \cdot \frac{0{,}02}{10} \cdot 500^2 = 250$ mkg zu verrichten, d. h. sie kann einen Druck von 250 kg auf einer 1 m langen Strecke oder auch einen Druck von 25 000 kg auf einer Strecke von 1 cm überwinden. In einen Körper z. B., dessen Widerstand 250 kg beträgt, vermag sie 1 m tief einzudringen.

Somit kann eine bewegte Masse die Arbeit, die eine Kraft an ihr verrichtet, indem sie ihr eine gewisse Geschwindigkeit erteilt, gleichsam in sich ansammeln. Dadurch wird die Masse zu gleicher Arbeitsleistung befähigt.

Beispiel: Wenn z. B. ein Stein von 2 kg Gewicht 125 m hoch herabfällt, so verrichtet die Schwerkraft 2×125 mkg Arbeit, denn auf dem ganzen Wege hat sie den Widerstand zu überwinden, mit welchem die träge Masse des Körpers der Beschleunigung widerstrebt. Nach § 73 erlangt nun ein aus 125 m Höhe herabfallender Körper eine Endgeschw. von 50 m. Unten angekommen, schlägt der Stein mit einer bestimmten Wucht auf. Stiege der Stein mit derselben Geschw. senkrecht aufwärts, so würde er umgekehrt eine Höhe von 125 m erreichen und auf dieser Strecke ebenfalls einen Widerstand von 2 kg überwinden, da die Erde den Stein mit dieser Kraft anzieht. Dies ergiebt wiederum eine Arbeitsleistung von 2×125 mkg.

Allgemein: Fällt ein Körper, dessen Gewicht Q beträgt, von der Höhe h herab, so ist die von der Schwerkraft an ihm geleistete Arbeit gleich Q . h. Hierdurch erlangt er eine Geschwindigkeit (v), welche umgekehrt ausreichen würde, ihn bis zu derselben Höhe wieder emporzutreiben (§ 73), folglich ihn auch befähigen würde, eine gleiche Arbeit wieder zu verrichten. Um die Gröfse dieser Arbeit durch die Masse und Geschwindigkeit des Körpers auszudrücken, setzt man $v = \sqrt{2gh}$ (S. 171). Da nach dieser Gleichung $h = \frac{v^2}{2g}$ ist, so ergiebt sich für die lebendige Kraft des Körpers

$Q \cdot \frac{v^2}{g2}$ oder, wenn man in diesem Ausdrucke statt $\frac{Q}{g}$ als Zeichen für die Masseneinheit m setzt (Seite 137),

$\frac{1}{2}mv^2$, d. h. man erhält die Gröfse der Arbeit, welche der bewegte Körper zu leisten vermag, wenn man die Hälfte seiner Masse mit dem Quadrat seiner Geschwindigkeit multipliziert.

Was in Bezug auf die Arbeitsfähigkeit von dem senkrecht aufsteigenden Körper gilt, mufs auch für jeden anderen in Bewegung befindlichen Köıper Geltung haben, da weder die Art, wie die Geschwindigkeit erlangt wird, noch die Beschaffenheit der Widerstände, noch die Richtung, in welcher die Bewegung erfolgt, einen Einflufs auf die Gröfse der lebendigen Kraft ausübt. Es gilt daher ganz allgemein der Satz:

Die lebendige Kraft eines bewegten Körpers ist gleich dem halben Produkte aus seiner Masse und dem Quadrat seiner Geschwindigkeit.

b. Spannkraft. Im zweiten Falle setzt der bewegte Körper nach dem Aufhören der Krafteinwirkung seine angenommene Bewegung nicht fort. Die Veränderung der Lage oder die Verschiebung der Teile des Körpers erfolgt dann ähnlich wie beim gehobenen Steine oder der gespannten Feder. In diesem Falle läfst sich ebenfalls nachweisen, dafs die vom Körper verbrauchte Arbeit ebenso wenig wie bei der abgeschossenen Kugel oder dem Wagen des fahrenden Zuges vernichtet ist. Wird nämlich ein Stein auf eine gewisse Höhe gehoben, so kann er zwar lange im Ruhezustande verharren; er kann aber auch, sobald ihm seine Unterlage entzogen wird, ebenso tief fallen, als er gehoben wurde, und bei dieser Bewegung ebenso viel Arbeit leisten, als die bewegende Kraft an ihm verrichtet hatte. Ähnlich verhält es sich mit einer gespannten Feder. Sobald sie ausgelöst wird, vermag sie in jedem Punkte ihres Weges einen ebenso grofsen Widerstand zu überwinden, als sie vorher der Kraft entgegensetzte, durch welche sie gespannt wurde.

Die Fähigkeit eines Körpers, verbrauchte Arbeit zu irgend welcher Zeit wieder in lebendige Kraft zu verwandeln, wird **Spannkraft (Spannungs-Energie** *oder* **Energie der Lage)** *genannt.*

Das letzte der oben angeführten Beispiele (Bohrer) zeigt, dafs die an einem Körper verrichtete Arbeit durch Bewegungshindernisse (Reibung oder dgl.) auch in

der Weise verbraucht werden kann, dafs der bewegte Körper nach dem Aufhören der Krafteinwirkung weder fähig ist, seine Bewegung fortzusetzen und vermöge seiner lebendigen Kraft mechanische Arbeit zu verrichten, noch Spannkraft besitzt, welche ihn zu späterer Leistung mechanischer Arbeit befähigt. Auch in diesem Falle ist die Vernichtung der Kraftarbeit nur eine scheinbare, denn überall, wo durch Bewegungshindernisse Arbeit verbraucht wird, entsteht Wärme (§ 126).

Ändert der Körper, indem er mechanische Arbeit verbraucht, seinen Aggregatzustand, wird z. B. Eis ohne Zuführung von Wärme durch Reibung flüssig, so findet zwar während der Änderung des Aggregatzustandes keine Temperaturerhöhung statt, die Wirkungsfähigkeit oder Energie geht aber dennoch nicht verloren. Der Körper erlangt nämlich durch die an ihm verrichtete Arbeit die Fähigkeit, *Wärme* zu erzeugen, wenn er in seinen früheren Aggregatzustand zurückkehrt; er giebt dann ebenso viele Wärmeeinheiten ab, als er verbraucht haben würde, wenn er durch Wärme in den jetzigen Aggregatzustand übergeführt worden wäre (§§ 119 und 120).

Hieraus geht hervor, dafs ruhende Körper grofse Vorräte von Arbeit in Form von Spannungsenergie enthalten können. Solche Arbeitsvorräte finden sich in grofser Menge in der Natur, namentlich in den Wassermassen der Erde, und werden auf die mannigfaltigste Art zur Arbeitsleistung angewandt. Die durch die Wärme der Sonnenstrahlen täglich gebildeten und emporsteigenden Wasserdämpfe sind reich an Spannkräften. Indem die aus den Dämpfen entstehenden Wolken als Regen oder Schnee niederfallen, verwandelt sich ein Teil dieser Spannkräfte in lebendige Kraft. Die Verwandlung setzt sich fort, indem das Wasser der Bäche, Flüsse und Ströme dem Meere wieder zufliefst. Findet irgendwo auf der Erdoberfläche eine Ansammlung von Wasser oder Schnee statt, so erleidet jene Verwandlung solange eine Unterbrechung, bis ein Abfliefsen erfolgt. Ist das Wasser in Bewegung, so können die Arbeitsvorräte in der verschiedensten Weise nutzbar gemacht werden.

Übungsstoff. **1.** Wie verhält sich die leb. Kr. einer Bleikugel zu der einer ebenso grofsen Kugel von Kork, wenn beide sich mit gleicher Geschw. bewegen? — **2.** Wie ändert sich bei beiden die leb. Kr., wenn die Geschw. 2-, 3-, 4 . . . mal so grofs wird? — **3.** Wie verhalten sich die zerstörenden Wirkungen zusammenstofsender Eisenbahnzüge zu einander, wenn a. bei gleicher Geschw. die bewegte Masse, b. bei gleicher Masse die Geschw. des einen Zuges doppelt so grofs ist als die des anderen, c. wenn Masse und Geschw. bei dem einen doppelt so grofs ist als beim anderen? — **4.** Ein Schwungrad läfst sich mit einem Behälter vergleichen, welcher W. aufnimmt und nach Erfordernis wieder abfliefsen läfst; inwiefern? — **5.** Erläutere an einem Beispiel (Gewichtstück einer Uhr, Rammbär oder dergl.) die Entstehung von Spannungsenergie. — **6.** Inwiefern kann man von einem schwingenden Pendel sagen, dafs bei demselben fortwährend eine Umsetzung von leb. Kr. in Spannkraft und umgekehrt stattfinde? — **7.** Welcher K. der Erde ist für die Ansammlung von Spannkraft, wie für die Verwandlung derselben in leb. Kr. von gröfster Bedeutung; inwiefern? (Nutzbarmachung der in den Wasser- und Schneemassen der Gebirge vorhandenen Arbeitsvorräte, verglichen mit den in den Felsmassen aufgespeicherten.) — **8.** Wodurch wird diese Ansammlung von Spannkraft bewirkt, und wann ist der Arbeitsvorrat erschöpft? (Kreislauf des W.) — **9.** Wv. mkg Arbeit kann eine 5 m hoch herabfallende Wassermasse von 1600 kg verrichten? — **10.** Wie grofs ist der gesamte Arbeitvorrat eines 720 m über dem Meeresspiegel gelegenen Teiches, wenn derselbe 600 cbm W. enthält? — **11.** Inwiefern kann die Heizkraft der Steinkohle oder die Blutwärme und Muskelkraft des Menschen auf die Energie der Sonne zurückgeführt werden? — **12.** Wie tief ungefähr kann eine Kugel von 400 m Geschw. in einen Baumstamm eindringen, wenn eine Kugel von gleichem Gew. und 200 m Geschw. 10 cm tief eindringt? — **13.** Wv. mkg Arbeit kann eine Kanonenkugel von 10 kg Gew. und 400 m Geschw. leisten? — **14.** Gesetzt, eine solche Kugel habe auf ihrem Wege die Hälfte ihrer Geschw. ver-

loren; wie tief würde sie dann noch in einen Festungswall einschlagen können, der einen Widerstand von 5000 kg bietet?

§ 146. Äquivalenz von Wärme und Arbeit. Wärme und Licht als Arten der Bewegung.

a. Mechanisches Wärme-Äquivalent. Die Erfahrung lehrt, dafs nicht nur durch mechanische Arbeit Wärme erzeugt, sondern dafs auch umgekehrt durch Wärme mechanische Arbeit verrichtet werden kann. Die Dampfmaschinen liefern hiervon den augenfälligsten Beweis.

Versuche, welche nach verschiedenen Methoden mit gröfster Sorgfalt ausgeführt worden sind, haben ergeben, dafs zur Erzeugung einer bestimmten Wärmemenge stets eine gleichgrofse Arbeit erforderlich ist, während umgekehrt zur Leistung einer bestimmten Arbeit eine unveränderliche Wärmemenge ausreicht.

Soll z. B. in einem Stück Blei durch Hämmern eine Wärmeeinheit erzeugt werden, so müssen 424 Hammerschläge mit einer Wucht von 1 mkg auf das Blei ausgeübt werden, oder es mufs von dem Blei überhaupt soviel Arbeit verbraucht werden, als jener Arbeit entspricht.

Wenn durch Dampf eine Maschine bewegt wird, so verschwindet (von Wärmeverlusten abgesehen) so oftmal eine Wärmeeinheit, als 424 mkg Arbeit verrichtet werden.

Um durch mechanische Arbeit eine Wärmeeinheit zu erzeugen, sind 424 Meterkilogramm Arbeit erforderlich; umgekehrt können durch eine Wärmeeinheit 424 Meterkilogramm Arbeit verrichtet werden: **mechanisches Äquivalent der Wärmeeinheit.**

Das mechanische Äquivalent der Wärme ist von *Robert Mayer in Heilbronn* (1842) zuerst gefunden und gleichzeitig von *Joule in Manchester* durch eine Reihe von Versuchen (Reibung von Gufseisen mit Wasser und Quecksilber) genau bestimmt worden. *Hirn* hat später durch Versuche an Dampfmaschinen nachgewiesen, dafs für je 424 Meterkilogramm geleistete Arbeit eine Wärmeeinheit verschwindet.

b. Wesen der Wärme und des Lichtes. Die Thatsache, dafs durch blofse Aufhebung einer Körperbewegung Wärme erzeugt werden kann, hat zu folgender Vorstellung über das Wesen der Wärme geführt: Wie sich die Bewegung des Hammers, welcher an eine Glocke schlägt, auf die Glocke überträgt und in ein Erzittern derselben verwandelt, so findet überall, wo die Bewegung eines Körpers durch Bewegungshindernisse teilweise oder ganz aufgehoben wird, eine Übertragung der Bewegung statt, indem sich die sichtbare Bewegung der Masse in eine unsichtbare Bewegung der Moleküle verwandelt. Diese Bewegung der Moleküle empfinden wir als Wärme. Wichtige Gründe haben zu der weiteren Annahme geführt, dafs die Moleküle aller Körper in steter Bewegung sind, und dafs diese Bewegungen bei einem Körper um so schneller erfolgen, je wärmer uns der Körper erscheint, ähnlich wie ein Tonerreger um so schneller schwingt, je höher der Ton ist, den wir von ihm hören. Da alle bekannten Wärmeerscheinungen sich durch diese Annahme

vollständig erklären lassen, so gewinnt folgender Satz einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit:

Die Wärme eines Körpers ist Bewegung seiner Moleküle.

Da die Körper nach genügender Erhöhung ihrer Temperatur anfangen zu leuchten, so liegt der Gedanke nahe, dafs auch die Lichterscheinungen durch äufserst schnelle Bewegungen kleinster Teilchen hervorgerufen werden, dafs diese Bewegungen aber mit gröfserer Geschwindigkeit erfolgen, als bei den Wärmeerscheinungen. Die Fortpflanzung von Licht und strahlender Wärme würde man sich hiernach ähnlich wie die Fortpflanzung des Schalles als ein schnelles Fortschreiten einer derartigen Bewegung vorzustellen haben. Diese Vorstellung kann um so mehr als richtig angesehen werden, als selbst die auffälligsten Lichterscheinungen (Beugung, Interferenz, Polarisation) sich danach erklären lassen.

Das Fortpflanzungsmittel kann jedoch nicht wie beim Schalle die Luft sein; denn Licht und strahlende Wärme pflanzen sich auch durch den Weltenraum hindurch fort. Man hält es daher für höchst wahrscheinlich, dafs der ganze Weltenraum von einem äufserst feinen unwägbaren Stoffe, den man *Äther* nennt, erfüllt sei; man nimmt ferner an, dafs dieser Stoff nicht nur im freien Raume zwischen den Weltkörpern, sondern auch in den unmefsbar kleinen Zwischenräumen zwischen den Molekülen aller Körper vorhanden, und dafs seine Dichtigkeit und Elasticität im Innern der Körper je nach der Einwirkung, welche seine Teilchen durch die Körpermoleküle erleiden, verschieden ist. Wichtige Gründe sprechen dafür, dafs die Schwingungen der Teilchen dieses Stoffes, indem sie Licht und Wärme fortpflanzen, nicht (wie bei der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft) in der Richtung des Strahles selbst erfolgen (Longitudinalwellen); sie finden vielmehr rechtwinklig zum Strahle statt (Transversalwellen).

Licht und strahlende Wärme sind ihrem Wesen nach eins, nämlich eine Wellenbewegung des Lichtäthers; sie unterscheiden sich nur durch die Schnelligkeit, mit der die Ätherteilchen schwingen.

Ein Körper strahlt hiernach Licht oder aber dunkle Wärme aus, indem die zitternde Bewegung seiner Moleküle sich dem umgebenden Äther mitteilt und durch diesen im Raume fortpflanzt. Die Farbe des Lichtes ist durch die Schnelligkeit bedingt, mit der die Schwingungen der Teilchen erfolgen; die Farbeneindrücke des Spektrums vom Rot bis zum Violett werden durch eine Stufenfolge von immer schnelleren Schwingungen hervorgerufen, sodafs man die Farbenfolge geradezu als Lichttonleiter bezeichnet hat. (Die Anzahl der Schwingungen beläuft sich auf 500—700 Billionen in 1 Sek.)

Licht- oder Wärmestrahlen werden von einem Körper absorbiert, heifst hiernach: die Geschwindigkeit, mit der die Körpermoleküle bereits schwingen, wird durch die in den Körper eindringenden Strahlen vergröfsert. Ein Körper ist vollkommen durchsichtig oder durchwärmig (diatherman), wenn alle Licht- oder Wärmestrahlen durch ihn hindurchgehen, ohne seine Moleküle zu schnellerem Schwingen anzuregen. Hat die Mitteilung der Ätherbewegung nicht nur ein rascheres Schwingen, sondern auch eine Auflockerung oder Trennung der die Körpermoleküle zusammensetzenden Atome zur Folge, so treten zugleich chemische Erscheinungen auf (Assi-

milation in den grünen Zellen der Pflanzen unter der Einwirkung des Lichtes, d. h. Umwandlung von Kohlensäure und Wasser in organische Substanz bei Ausscheidung von Sauerstoff; Zersetzung der Silbersalze beim Photographieren). Je nachdem die Schwingungen der Ätherteilchen beim Zusammentreffen zweier Strahlen einander gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind, findet eine Verstärkung oder Aufhebung der Bewegung statt (Interferenz). Dadurch, dafs sich die Schwingungen der zwischen den Rändern eines schmalen Spaltes befindlichen Ätherteilchen nach den Seiten hin auf benachbarte Ätherteilchen übertragen, entsteht die als Beugung bezeichnete Lichterscheinung. Bei einem gewöhnlichen Lichtstrahl schwingen die Ätherteilchen in allen möglichen, zur Fortpflanzungsrichtung senkrechten Ebenen; wird durch Reflexion, durch Brechung oder Absorption der Strahl derart verändert, dafs die Schwingungen der Ätherteilchen nur noch in einer Ebene stattfinden, so nennt man diese Veränderung Polarisation der Lichtstrahlen.

Die Annahme, dafs Licht und Wärme eine Art der Bewegung sind (Undalations- oder Wellentheorie), wird wie jede andere zur Erklärung von Naturerscheinungen dienende Annahme eine **Hypothese** *genannt.*

Hypothesen gewinnen um so mehr an Wahrscheinlichkeit, je vollständiger und ungezwungener sich die bezüglichen Erscheinungen danach erklären lassen. Eine Hypothese mufs verworfen werden, sobald sich neu entdeckte Erscheinungen mit ihr nicht in Einklang bringen lassen.*) Die Hypothese z. B., nach welcher man sich das Licht als einen feinen, von den leuchtenden Körpern ausgesendeten Stoff vorstellte *(Emissionstheorie)*, konnte nur so lange aufrecht erhalten werden, als die Erscheinungen ihr nicht widersprachen (vergl. S. 397).

Übungsstoff. **1.** Bei vollkommen elastischen Körpern ist die leb. Kr. der Masse vor und nach dem Stofse dieselbe, nicht aber bei unel. K.; w.? — **2.** Inwiefern ist bei letzteren die verlorene leb. Kr. nicht vernichtet? — **3.** Welche Verwandlung mufs beim elastischen Stofse stattfinden, indem der elastische K. sich abplattet; welche hingegen, indem er beim Zurückprallen seine ursprüngliche Gestalt wieder annimmt? — **4.** Man bezeichnet die Wärme auch als leb. Kr. der Moleküle. Was läfst sich hiernach von der Gröfse der leb. Kräfte elastischer und unelast. K. vor und nach dem Stofse behaupten? — **5.** Wovon hängt es ab, ob bei nicht vollkommen elastischen Körpern, nach dem Stofse die leb. Kr. der Masse oder diejenige der Moleküle gröfser ist? — **6.** Eine Kanonenkugel von 10 kg Gew. schlage mit 400 m Geschw. gegen einen Schiffspanzer und verliere dadurch ihre Bewegung vollständig. Wv. Wärmeeinheiten entstehen dabei? (Berechne zunächst die lebendige Kraft.) — **7.** Warum kann die Temp. des W. durch den Verbrauch von mech. Arbeit nicht so schnell steigen als die irgend eines anderen festen oder flüssigen K.? — **8.** Welchen Einflufs mufs es auf die Temp. des Dampfes ausüben, wenn der Dampf den Kolben einer Dampfmaschine noch bewegt, nachdem die Verbindung zwischen Cylinder und Dampfkessel bereits aufgehoben ist? (Expansionsmaschine.) — **9.** Wv. mechanische Arbeit müfste an 2 Stücken Eis geleistet werden, wenn von denselben 100 g durch blofse Reibung geschmolzen werden sollten? (§ 119.) — **10.** Die Verbrennungswärme von 1 kg Steinkohle beträgt 7000 Wärmeeinheiten. Wv. mkg Arbeit könnte dadurch geleistet werden, wenn sich die ganze Wärme nutzbar machen liefse?

§ 147. Verwandlung der Energie. Nach den beiden vorigen Paragraphen kann sich mechanische Arbeit in lebendige Kraft oder in Spannkraft der *Masse* des bewegten Körpers, oder auch in lebendige Kraft oder in Spannkraft der *Moleküle*

*) Die Hypothese, dafs die elektrischen Erscheinungen mit den Lichterscheinungen dem Wesen nach eins sind (*Maxwells* elektromagnetische Lichttheorie), ist durch die neueren Untersuchungen von *Hertz* bestätigt worden, sodafs sie jetzt an Anspruch auf Sicherheit der Undulationstheorie des Lichtes nahezu gleichkommt. Die „Strahlen elektrischer Kraft unterliegen denselben Gesetzen der Fortpflanzung, Reflexion und Brechung wie die Lichtstrahlen.“

desselben verwandeln und umgekehrt. Wie nun von jenen beiden sichtbaren Formen der Wirkungsfähigkeit die eine in die andere umgewandelt werden kann, so läfst sich auch von den beiden unsichtbaren Formen, nämlich von der lebendigen Kraft und von der Spannkraft der Moleküle, die eine in die andere verwandeln.

Indem z. B. ein Körper durch Aufnahme von Wärme, ohne dafs sich seine Temperatur erhöht, schmilzt oder verdampft, wird durch die Vergröfserung des Abstandes der Moleküle ein Widerstand überwunden, und zwar beim Verdampfen auf einem weit gröfseren Wege als beim Verflüssigen. Da nun die Moleküle des Körpers sowohl beim Erstarren als bei der Kondensation ihre ursprüngliche Lage gegeneinander wieder einnehmen und dabei dieselbe Wärmemenge wieder entsteht, welche beim Schmelzen und Verdampfen verschwand, so findet durch diese Vorgänge offenbar nur ein *Wechsel in der Form der Energie* statt: die Energie der molekularen Bewegung oder die lebendige Kraft der Moleküle verwandelt sich in Energie der Lage oder in Spannkraft der Moleküle oder es findet der umgekehrte Vorgang statt.

Wie folgende Beispiele zeigen, kann die mechanische Arbeit aufser der Umwandlung in Wärme noch mancherlei andere Umwandlungen erfahren. Durch mechanische Arbeit entsteht z. B. ein Schall, wenn eine Glocke durch einen Schlag in Schwingungen versetzt wird, Licht, wenn ein Körper durch Reibung sich entzündet, Magnetismus, wenn Stahl mit einem Magnetpol gestrichen wird, el. Spannung, wenn zwei ungleichartige Körper aneinander gerieben werden (Elektrisiermaschine), ein el. Strom, wenn eine magnet- oder dynamo-elektrische Maschine in Bewegung gesetzt wird, ein chemischer Vorgang, wenn der durch mechanische Arbeit erzeugte Strom chemische Verbindungen zersetzt u. s. w. — Einzelne der angeführten Beispiele zeigen zugleich, dafs die aus der mechanischen Arbeit unmittelbar hervorgegangene Form der Energie wieder einer weiteren Umwandlung fähig ist. Andere früher erwähnte Beispiele dieser Art sind die Verwandlung von Wärme in Elektricität beim Erwärmen der Lötstellen zweier Metalle (Thermoelektricität), die Verwandlung von Elektricität in Wärme, wenn entgegengesetzte Elektricitäten sich ausgleichen (Entzündung durch den el. Funken, galv. Glühen von Drähten), ferner die Verwandlung von Licht in Wärme, wenn ein Körper Lichtstrahlen absorbiert u. s. w.

Bezeichnet man ganz allgemein *jede Wirkungsfähigkeit einer Kraft* als *Energie*, so sind Schall, Wärme, Licht, Elektricität, Magnetismus, mechanische Energie und chemische Verwandtschaft nur als verschiedene Formen der Energie aufzufassen **(Einheit der Naturkräfte)**.

Es liegt nun die Frage nahe, ob in den Fällen, in denen eine Umwandlung von Energie stattfindet, diese Umwandlung ohne Gewinn oder Verlust an Energie erfolgt. Da die verschiedensten Formen der Energie sich in Wärme verwandeln lassen und da man im Wärme-Äquivalent ein Mafs besitzt, mittelst dessen Arbeitseinheiten und Wärmeeinheiten ausgedrückt werden können, so ist man auf Grund genauer Versuche zu dem Grundgesetz aller Naturerscheinungen gelangt:

Die in der Natur vorhandene Energie oder Wirkungsfähigkeit der Kräfte wird durch die Verwandlungsvorgänge weder vergröfsert noch verkleinert: **Prinzip der Erhaltung der Energie** (Erhaltung der Kraft).

Geschichtliche Übersicht.

Arhimedes, († 212 v. Chr. in Syrakus) begründet die Lehre vom Gleichgewicht der festen und flüssigen Körper.

Hebelgesetz, Schraube ohne Ende, Flaschenzug; Archimedisches Prinzip.

Claudius **Ptolemäus** (um 120 n. Chr. (?) in Alexandrien), neben **Hipparch** von Nicaea der bedeutendste Astronom des Altertums, begründet das nach ihm benannte Weltsystem in seinem „Almegest" (*Μεγίστη σύνταξις* [Megiste syntaxis], d. h. „Gröſste Zusammenstellung", von den Arabern „el Megiste" genannt).

Optische Untersuchungen (das Sehen, Reflexion und Brechung des Lichtes, Spiegelung); Trigonometrie; Geographie.

Heron von Alexandrien (um 120 v. Chr.) erfindet den Heronsball und verwendet die Spannkraft des Dampfes als bewegende Kraft.

William **Gilbert** († 1603 in London) legt den Grund zu einer wissenschaftlichen Untersuchung der magnetischen und elektrischen Erscheinungen.

Simon **Stevinus** († 1620 in Leyden) entdeckt das Gesetz der schiefen Ebene und den Satz vom Boden- und Seitendruck der Flüssigkeiten, ergänzt das archimedische Prinzip.

Nikolaus **Kopernikus** (geb. 1473 in Thorn, † 1543 in Frauenburg), begründet das nach ihm benannte Weltsystem in seinem Werke: „De revolutionibus (orbium coelestium)".

Galileo **Galilei** (geb. 1564 in Pisa, † 1642 in Florenz), verteidigt das Kopernikanische System; begründet die Mechanik (Beharrungsgesetz, Fallgesetze, Lehre vom Wurf, Pendel, Parallelogramm der Kräfte); konstruiert ein Fernrohr (Mondberge, Jupitermonde, Phasen der Venus, Sonnenflecken) und versucht eine Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit (Olaf Römer 1676).

Johannes **Kepler** (geb. 1571 im Württembergischen, † 1630 in Regensburg), Begründer der Mechanik des Himmels (das 1. und 2. Gesetz der Planetenbewegung fand er — durch Berechnung der von Tycho Brahe am Mars angestellten Beobachtungen — 1609 in Prag, das 3. 1618 in Linz). Optische Untersuchungen (Spiegelung und Brechung der Lichtstrahlen — das Brechungsgesetz entdeckt Snellius 1621 —, Einrichtung des Auges, das Sehen; astronomisches Fernrohr).

Christian **Huyghens** (geb. 1629, † 1695 in Leyden), Schöpfer der Wellentheorie des Lichtes (Ätherschwingungen). Astronomische Forschungen (Saturnring) und Fortschritte auf dem Gebiete der Mechanik (Pendel, Schwungkraft, Gestalt der Erde, Lehre vom Stoſs).

Isaak **Newton** (geb. 1643, † 1727), Entdecker des Gravitationsgesetzes, mittelst dessen er die Bewegungen der Weltkörper, sowie die Erscheinungen von Ebbe und Flut erklärt. Untersuchungen auf dem Gebiete der Optik: farbige Zerlegung des weiſsen Lichtes, natürliche Farben der Körper, Farben dünner Blättchen, Spiegelteleskope; Emissionstheorie des Lichtes. Akustische und elektrische Forschungen.

Evangelista **Torricelli** († 1647 in Florenz) entdeckt den Luftdruck und erfindet das Quecksilberbarometer.

Erste bar. Höhenmessung 1648 am Puy de Dôme auf Veranlassung von **Pascal.**

Otto von **Guericke** († 1668) wendet sein Wasserbarometer als „Windanzeiger“ an, erfindet die Luftpumpe (1650) und eine einfache Elektrisiermaschine.

Robert **Boyle** entdeckt 1660 das 1679 von **Mariotte** bestätigte und nach lezterem benannte Gesetz und erfindet die Verdichtungspumpe.

Denis **Papin** († 1742) untersucht die Abhängigkeit des Siedens vom Luftdruck und benutzt die Spannkraft des Dampfes zur Bewegung eines Kolbens (1687).

James **Watt** (geb. 1736, † 1819) beschäftigt sich mit Untersuchung der Elasticität des Dampfes und erfindet die doppeltwirkende Niederdruckmaschine (vergl. S. 311).

Im 18. Jahrhundert wurde durch eine Reihe von Forschern die Lehre von der *Elektricität* wesentlich gefördert. Es sind dies besonders:

Gray, der den Unterschied der Leiter und Nichtleiter entdeckt (1729),

Du Fay, der Glas- und Harz-Elektricität unterscheidet (1733);

Symmer, der die Zwei-Fluida-Theorie aufstellt und

Franklin, der die elektrische Natur des Gewitters nachweist und den Blitzableiter erfindet (1760).

Coulomb endlich zeigt, wie man magnetische und elektrische Kräfte messen kann und führt die Lehre von der Reibungselektricität zu einem vorläufigen Abschlufs (1789).

Allessandro **Volta** (geb. 1745, † 1827 zu Como) erfindet den Elektrophor (1775), den Kondensator (1782), die Voltasche Säule (1800) und erklärt die Erscheinungen des Galvanismus durch seine Kontakttheorie.

André Marie **Ampère** (geb. 1775, † 1836 in Marseille) erforscht die elektrodynamischen Wirkungen des galvanischen Stromes (angeregt durch Oersteds Entdeckung der Einwirkung desselben auf die Magnetnadel, 1820) und stellt die nach ihm benannte Theorie über das Wesen des Magnetismus auf. (Maxwell nannte Ampère den „Newton der Elektricität.“)

Georg Simon **Ohm** (geb. 1789, † 1854 in München) entdeckt das Gesetz über den Zusammenhang zwischen Stromstärke, elektromotorischer Kraft und Widerstand. Akustische Untersuchungen (Klangfarbe).

Michael **Faraday** (geb. 1791, † 1867 in London), „der erste aller Experimentatoren“ (nach Tyndall), entdeckt die Induktionselektricität (1831), die Gesetze der Elektrolyse und des Diamagnetismus; begründet die elektrochemische Theorie, führt den Begriff der magnetischen Kraftlinien ein und erfafst das Wesen der Elektricität unter dem Gesichtspunkt der Einheit der Naturkräfte. In dieser Hinsicht sind Faradays Untersuchungen für die gesamte Physik von besonderer Wichtigkeit geworden, und bilden den Ausgangspunkt für eine Reihe von er-

folgreichen Forschungen über den Zusammenhang zwischen Magnetismus, Elektricität und Licht (Versuche von Professor **Hertz** in Bonn 1887).

Auch in anderer Beziehung sind Faradays Entdeckungen von grundlegender Bedeutung, da auf ihnen der gewaltige Aufschwung beruht, den die *Elektrotechnik* in den letzten drei Jahrzehnten genommen hat.

Werner von **Siemens** (geb. 1816, † 1892 in Berlin), der „James Watt des Elekromagnetismus", wie ihn Du Bois-Reymond nannte. (Telegraphie, unterseeische Kabel, Telephon, Dynamomaschine, galv. Messungen, Widerstandseinheit).

In der *Optik* behauptete länger als ein Jahrhundert die von Newton zu grofser Vollendung ausgebildete Emissionstheorie den Vorrang vor der Wellentheorie, die zunächst weniger einfach erschien, weil sie die Annahme eines Mittels der Wellenbewegung, des Äthers, notwendig machte. Erst zu Anfang des 19. Jahrhunderts wurde der Streit zwischen beiden Theorien zu Gunsten der Wellentheorie entschieden.

Thomas **Young** († 1829 in London) erklärt die Farbenerscheinungen dünner Blättchen durch die Interferenz der Lichtwellen.

Aug. Jean **Fresnel** († 1827 bei Paris) vervollständigt die Untersuchungen des vorigen durch seine Erklärung der Beugungserscheinungen.

Joseph von **Fraunhofer** († 1826 in München) untersucht die dunklen Linien im Sonnenspektrum und bringt die achromatischen Fernrohre zu hoher Vollkommenheit. (Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungsvermögens verschiedener Glassorten).

Kirchhoff († 1887 in Berlin) und **Bunsen** in Heidelberg begründen die Spektralanalyse (1859) und wenden sie zur Untersuchung der Himmelskörper an *(Astrophysik)*.

Die *Akustik* wurde durch **Chladni** (Klangfiguren, Schallgeschwindigkeit), durch die Gebrüder **Weber** in Göttingen (Wellenlehre, 1825) und durch **Helmholtz** („Lehre von den Tonempfindungen", 1862) wesentlich ausgebildet.

In der *Wärmelehre* hat Robert **Mayer** (geb. 1814, † 1878 in Heilbronn) durch die Begründung der mechanischen Wärmetheorie (1842) einen Fortschritt von gröfster Bedeutung herbeigeführt, nachdem schon **Thompson** (Graf **Rumford**) die Beziehung zwischen mechanischer Arbeit und Wärme erkannt hatte (1798).

Joule ermittelte (von 1842 bis 1849) durch genaue Versuche das Verhältnis zwischen Arbeitsgröfse und Wärmemenge (mechanisches Wärmeäquivalent) und

Hermann von **Helmholtz** (Direktor der physikalisch-technischen Reichsanstalt in Charlottenburg) bewies mathematisch den bereits von Mayer aufgestellten Satz von der „Erhaltung der Kraft" (1847). Aus diesem Gesetz folgt zugleich der Grundgedanke der neueren Naturbetrachtung: der Satz von der „Einheit der Kraft."

Alphabetisch geordnetes Sach-Verzeichnis.

Die beigefügten Zahlen geben die Seiten an.

Absorption der Gase 124, der Wärme 317, d. Lichtes 279.
Abstofsung, magn. 80, el. 89, molekulare 118.
Abweichung, chromatische 274, sphärische 244, 252.
Achromatische Linsen 275.
Adhäsion 122.
Aggregatzustände 1, 117, Änderung der 66.
Akkomodation d. Auges 266.
Akkumulator, el. 367.
Ampèremeter 372.
Ampèresche Gestelle 370, Regel 355.
Anode 364.
Anziehung, magn. 79, el. 85, molekulare 118.
Äquator, magnetischer 344.
Äquivalenz von Wärme und Arbeit 391.
Aräometer 199.
Arbeit, mechanische 138.
Archimedisches Prinzip 196.
Astatische Magnetnadel 356.
Atherman 318.
Atmosphäre, Druck der 36, 202, el. 98.
Atm. Dampfmaschine 311, atm. Strahlenbrechung 60.
Atom 117.
Aufdruck 195.
Auftrieb 196.
Auge 264.
Ausdehnsamkeit 2.
Ausdehnung, allg. Eigsch. 3, durch Wärme 64, 290.
Ausdehnungskoefficient 291.
Ausgleichung, el. 92.
Auslader, el. 103.

Balancieren 156.
Ballistische Kurve 175.
Barometer 202, -Probe 211.
Batterie, el. 103, galv. 348.
Beharrungsvermögen 5.
Beleuchtungsstärke 239.
Beschleunigung 132.
Beugung des Lichtes 286.
Bewegung, gleichf. u. unglf. 131, Hindernisse der 140.
Bewegungen, Zusammensetzung u. Zerleg. von 144.
Bilder durch ebene Spiegel 56, durch gekrümmte Spiegel 242—244, durch Linsen 255—257.
Blasebalg 43.
Blitz 109, -Ableiter 110.
Bodendruck der Flgkn. 193.
Bogenlicht, el. 362.
Brechung des Lichtes 59, 249, Doppel- 289.
Brechungsexponent 246.
Brennpunkt 242, 252.
Brillen 266.
Brunnen, artes. 31, interm. 39.

Calorie 302.
Camera obscura 263.
Centralbewegung 175.
Centrifugal-Kraft 179, -Pumpe 181, -Regulator 314.
Centripetalkraft 175.
Coulombsches Gesetz 346.
Cyklonen 334.

Dämmerung 58.
Dämpfe 119, 308.
Dampfmaschine 310.
Dauer d. Lichteindruckes 270.
Deklination, magn. 343.
Densimeter 200.
Diamagnetisch 346.
Diatherman 318.
Dichte der Erde 129.
Dichtigk.-Maxim. des W. 294.
Differentiallampe 362.
Diffusion 125.
Doppelbrechung 289.
Dopplersches Prinzip 225.
Drehungsmoment 17.
Drehwage 128.
Druck der Atmosphäre 36, 201, eingeschlossener Luft 205, der Dämpfe 69, 307.
Druck der Flgkn. 32, 192, gleichmäfsige Fortpfl. 189.
Durchsichtig 51.
Dynamomaschine 384.
Dynamometer 136.

Ebbe 129.
Ebene, schiefe 21, 167.
Echo 48.
Eigenschaften, allgem. 1, 115.
Einfallswinkel, 48, 54.
Elasticität 120.
Elektricität, Berührungs- 348, Induktions- 372, Reibungs- 84, Leitung der 87, freie und gebundene 91, Thermo- 386, tierische 387, Wirkungen der 104.
Elektrisiermaschine 97.
Elektrodynamik 371.
Elektromagnet 368.
Elektrometer 98.
Elektrolyse 363.
Elektrophor 95.
Elektroskop 85, Goldbl.- 92.
Elemente, galv. 353.
Elmsfeuer 109.
Energie der Bewegung 388, Verwandlung und Erhaltung der 393.
Erdmagnetismus 342.
Ergänzungsfarben 273.
Erstarrungsverzug 298.
Erstarrungswärme 302.
Expansion 118.
Expansivkraft 37.
Extrastrom 373.

Fall, freier 10, 170, -Maschine 133.
Farbe, blaue des Himmels 278.
Farben, natürl. 280, -Zerstreuung 272, -Blindheit 271.
Fata morgana 61.
Fernrohr 260.
Festigkeit, Zug-, Bruch-, Druck- 121.
Feuerspritze 43.
Feuerzeug, pneumat. 320.
Flasche, Leydener 103.
Flaschenzug 162.
Flintglas 275.
Fluorescenz 280.
Flut 129.
Föhn 335
Foucaults Pendelversuch 187.
Franklinsche Tafel 102.
Fraunhofersche Linien 282.
Fresnelscher Apparat 254.
Funke, el. 95, 103, 104.

Galvanisches Element 348.
Galvanismus 348.
Galvanometer 355.
Galvanoplastik 366.
Galvanoskop 355.
Gase 119, 309.
Gefäfse, kommunizierende 30.
Gehörorgan 222.
Geifslersche Röhren 104, 375.

Geschwindigkeit der E. 107, 376, des Lichtes 237, des Schalles 47, 220.
Geschwindigkeiten, mittlere 131.
Gewicht 8, 129, der Luft 212, spec. 35, 198, 214.
Gewitter 108.
Gleichgewichtslagen 153.
Glühlicht, el. 363.
Goldene Regel der Mechanik 28.
Göpel 20.
Gradient 330.
Graupeln 77.
Gravitation 127.
Grundeis 294.
Grundton 225.

Hagel 77.
Hebel 12, 157.
Heber, Stech- 36, Saug- 38.
Heronsball 42.
Hindernisse der Beweg. 140.
Hörrohr 49.
Hydraulische Presse 191.
Hygroskop 336, -meter 336.
Hypothese 393.

Induktions-Apparat 374, -Ströme 106, 372.
Influenz 90, -Maschine 99.
Inklination, magn. 343.
Interferenz des Lichtes 285, des Schalles 235.
Intervall 225.
Irradiation 270,
Isobaren 330.
Isochronismus der Pendelschwingungen 184.
Isodynamische Linien 345.
Isogonische Linien 343.
Isoklinische Linien 344.
Isolatoren 87.
Isothermen 324.

Joules Gesetz 361.

Kabel 376.
Kaleidoskop 56.
Kalmen 327.
Kalorie 302.
Kältemischungen 301.
Kammerton 225.
Kanalwage 30.
Kapillarität 123.
Kathode 364.
Kehlkopf 232.
Keil 24, 168.
Keplersche Gesetze 178.
Kerzen, Jablochkoffsche 362.
Kimmnng 61.
Klangfarbe 233, -figuren 228.
Klima 326.
Klingel, el. 375.
Kohäsion 118.
Kommuniz. Gefäſse 29, 192.
Kommunikationsrohr 49.
Kompaſs 78.
Kompensationspendel 292.
Komplementärfarben 273.
Kondensation 68.
Kondensationswärme 304.
Kondensator, el. 101, Voltascher 103.
Kontrast 271.
Kraft 6, -einheit 8, 137, elektromot. 352, lebend. 388.
Kraftübertragung, el. 385, durch Druckluft 210.
Kräfte, Parallelogramm der 147, Zusammensetzung der 146, Zerlegung der 150.
Kronglas 275.
Kurzsichtigkeit 266.

Laterna magica 259.
Lebendige Kraft 388.
Leidenfrostsche Tropfen 300.
Leitungswiderstand, el. 358.
Leitung, Wärme- 71, Elektricitäts- 87, 358.
Lenzsches Gesetz 374.
Leuchtsteine 281.
Leuchtturm-App. 245, 254.
Leydener Flasche 102.
Licht 50—61 und 236—289, el. 361.
Licht-Intensität 239, Theorien desselben 393.
Linsen 251, achromat. 275.
Lokomotive 315.
Lot 9.
Luftballon 214, -druck 36, 201, -maximum und -minimum 331, -strömungen 327, -pumpe 209, -säulen, tönende 229, -spiegelung 248, -wellen 248, -wirbel 330.
Lupe 256.

Magazin, magnetisches 83.
Magnete 80 und 82, Herstellung der 83, 369, -Feld 79, 369, -Kraftlinien 79, 369, -Nadel 78, astatische 356.
Magnetismus 78—84 und 341—347.
Manometer 207.
Mariottesches Gesetz 205.
Maschine 28, Dampf- 310, dynamo-el. 384, Elektrisier- 97, Influenz- 99, magnet-el. 381.
Massenanziehung 127, -Einheit 137.
Mechanik 12—44 und 130 bis 214.
Mech. Vorteil u. Nachteil 13.
Meridian, magnetischer 343.
Metallurgie, galv. 366.
Meteorologie 321—340.
Meterkilogramm 139.
Metronom 188.
Mikrophon 379.
Mikroskop 259.
Mitteilung der Wärme 63.
Mittel-Kraft 146, -Punkt, opt. 252, -Temperaturen 323.
Mittönen 235.
Molekül 117.
Molekularkräfte 118.
Mondfinsternis 54.
Monochord 226.
Monsun 328.
Multiplikator 356.

Nachbilder 270.
Nachhall 48.
Natur-Ersch. 112, -Gesetz 113.
Nebel 76, 338.
Niederschläge, atm. 77, 337.
Nordlicht 111.

Obertöne 227.
Okular 259.
Ohmsches Gesetz 359.
Ohr 222.
Osmose 126.

Papinscher Topf 300.
Parallelogramm der Bewegungen 145, d. Kräfte 148.
Paramagnetisch 347.
Pascals Apparat 194.
Passatwinde 328.
Pendel 182, -Uhren 186.
Pfeifen, Lippen- 229, Zungen- 232.
Pferdekraft 135.
Phonograph 223.
Phosphorescenz 281.
Photographie 263.
Photometer 239.
Polarität, magnetische 80.
Polarisation des Lichtes 287.
Polarisationsstrom 367.
Pole, magn. der Erde 342.
Porosität 113.
Präzession 189.
Prinzip des Archimedes 196.
Prisma 250, achromat. 274.
Psychrometer 337.
Pumpen, Saug- 40, Druck- 41, Centrifugal- 181.
Pyrometer 297.

Quecksilberluftpumpe 211.
Quellen, heifse 320.

Räder, Friktions- 166, Reaktions- 33, Winkel- 166.
Reflexion, des Lichtes 54, totale 247, des Schalles 48.
Refraktor 262.
Regen 77, 330, geogr. Verteilung 339, -Bogen 276, -Messer 339.
Reibung 149, -Koefficient 141.
Reif 76, 337.
Resonanz 234, Resonator 235.
Rollen 17, 162.
Rostpendel 292.
Rückschlag, el. 96, 110.
Ruhmkorffs Apparat 375.

Saiten, tönende 221.
Schall 44—50 und 215—236.
Schall-Erregung 45, -Rohr 49, -Wellen, fortschreitende 219, stehende 230.
Schatten, Kern- u. Halb- 52.
Schiebersteuerung 313.
Schiffsschraube 34.
Schlagweite, el. 96.
Schmelzpunkte 66, Veränderlichkeit der 298.
Schmelzwärme 301.
Schnee 77.
Schraube 26, 168, ohne Ende 169.
Schwere 6, allgemeine 128.
Schwerpunkt 152.
Schwimmen 197.
Schwingen von Saiten 226, von Scheiben 228, von Luftsäulen 229.
Schwingungsbauch 227, -Knoten 227.
Schwungkraft 179.
Schwungrad 189, 314.
Segners Wasserrad 33.
Sehweite 266, -Winkel 267.
Seilwinde 165.
Seitendruck der Flgkn. 194.
Seitenkräfte 146.
Sekundäre Elemente 367.
Sekundenpendel 185.
Senkwage 200.
Setzwage 9.
Sicherheitslampe 72.
Siedepunkte 68, Veränderlichkeit der 299.
Siedeverzug 300.
Sirene 224.
Solenoid 370.
Sonnen-Finsternis 54, -Mikroskop 259.
Spannkraft der Luft 37, 205, der Dämpfe 69, 307.
Spannung, el. 93, 351.
Spannungsreihe 351.
Spektralapparat 282.
Spektrum 272, reines 281.
Specifisches Gewicht d. festen und flüssigen Körper 35, 199, der luftf. Körper 214.
Specifische Wärme 305.
Spiegel, Plan- 54, sphär. 241.
Spitzenwirkung, el. 105.
Sprachrohr 49.
Springbrunnen 30.
Standfestigkeit 155.
Stärke der Beleuchtung 239, des Schalles 220.
Stereoskop 269.
Stimmorgan 232, -gabel 228.
Stofs 142.
Strahlenbrechung, atm. 60.
Strahlung, Wärme- 316.
Strom, el. 106, galv. 352, Induktions- 106, 372, -Stärke 359, -Wender 382, 385.
Stürme 334.

Tafel, Franklinsche 102.
Tangentenboussole 356.
Tangential-Geschw. 177.
Taucherglocke 4.
Tau 76, 337, -Punkt 336.
Teilbarkeit 116.
Telegraphie 376.
Telephon 379.
Teleskope 262.
Temperatur, kritische 310, der Luft u. des Bodens 321.
Thermometer nach R und C 63, nach F 295, Maximum- und Minimum- 296, Metall- 296, Differential- 296.
Thermo-Elektricität 386, -Multiplikator 386.
Thermoskop 65.
Ton 44, 224.
Toricellische Leere 202.
Trägheit 5, Tr.-Moment 187.
Tragkraft, magnetische 83.
Turbine 33.

Überschmelzung 298.
Uhr, el. 375.
Umsteuerung 315.
Undurchdringlichkeit 3.
Undurchsichtig 52.
Unruhe 181.

Ventilator 181.
Verbrennungswärme 319.
Verdampfen 67.
Verdampfungswärme 304.
Verdichten 68.
Verdunsten 67.
Verteilung, el. 90, magn. 81.
Voltasche Säule 350.
Voltameter 365.
Volumeter 200.

Wage, chemische 159, Decimal- 160, Feder- 9, hydrost. 196, Krämer- 9, 159, Schnell- 169, Senk- 200, Setz- 9, Tafel- 10, Zeiger- 161, Empfindlichk. der 160.
Wagenwinde 165.
Wärme 62—77 u. 290—340, freie und gebundene 304, -Leitung 71, -Quellen 319, specifische 305, -Strahlung 316, -Einheit 302.
Wasser, unregelmäfsige Ausdehnung 293, -Hose 334, -Leitung 30, -Luftpumpe 211, -Räder 33, -Standsgläser 30, -Wellen 275, -Zersetzung 363.
Wasserstoffzündmasch. 124.
Weitsichtigkeit 267.
Wellenbewegung 215.
Wellrad 20, 165.
Wesen der Wärme und des Lichtes 391.
Wetterkarten 333, -leuchten 109, -vorhersage 334.
Wiederhall 48.
Widerstand des Mittels 141.
Widerstandseinheit 358.
Winddrehungsgesetz v. Dove 203, von Buys Ballot 331.
Winde, Passat- 327, Küsten- 328, veränderliche 330.
Wind-Rose 78, -Wirbel 334.
Winkelspiegel 56.
Wirbelstürme 334.
Wirkung u. Gegenwirk. 138.
Wirkungen der E. 104, des galv. Stromes 361, der Wärme 62, 290.
Wolken 76, 338.
Wurf, senkrechter 171, wagerechter und schiefer 173.

Zauberlaterne 259.
Zerlegung der Kräfte 150, des Lichtes 271, von Bewegungen 144.
Zerstäubungsapparat 39.
Zerstreuung des Lichtes 59.
Zurückwerfung des Lichtes 54, des Schalles 47.
Zusammensetzung der Kräfte 146, von Bewegungen 144.

Sumpf, Karl

K. Sumpfs Schulphysik Methodisches Lehr- und Übungsbuch für höhere Schulen in zwei Lehrstufen. Mit 529 in den Text gedruckten Abbildungen und 1 Spektraltafel in Farbendruck

Hildesheim 1894

Phys.g. 601 n
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11902621-3